



Plan Nacional de Innovación y Tecnología (PNIT) en eficiencia energética para la climatización y refrigeración en Colombia

Contrato CO - T1663 - P009

Presentado a:

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



Bogotá D.C, 17 de enero de 2025

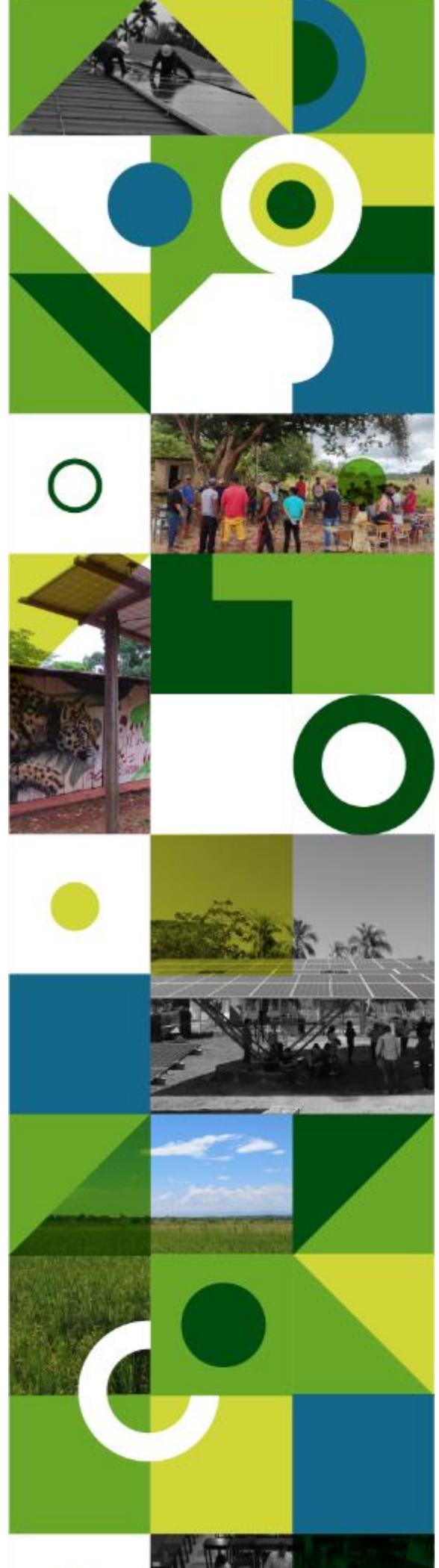


Tabla de contenido

1. Introducción	17
2. Objetivos	18
2.1. Objetivo general	18
2.2. Objetivo Específico	18
3. Alcance	18
4. Contextualización Nacional e Internacional	19
4.1. Marco legal colombiano	19
4.1.1. Leyes y decretos en eficiencia energética en Colombia	19
4.1.2. Normativa relacionada al uso de refrigerantes	24
4.1.3. Resoluciones referentes a etiquetado y sostenibilidad energética en Colombia	26
4.1.4. Documentos CONPES referentes a eficiencia energética y cambio climático	28
4.2. Normativa vigente de climatización y refrigeración para espacios climatizados en edificaciones	30
4.3. Normativa vigente de climatización y refrigeración en procesos industriales	33
4.4. Normativa vigente de climatización y refrigeración para el sector cadena de frio de comida	35
4.5. Incentivos tributarios por inversiones en FNCE y Eficiencia Energética	36
4.6. Marco normativo para distritos térmicos en Colombia	38
4.7. Panorama internacional	41
4.7.1. Estados unidos	41
4.7.2. México	42
4.7.3. Brasil	42
4.7.4. Dinamarca	42
4.7.5. Australia	43
4.7.6. India	43
4.8. Resumen visitas nacionales e internacionales realizadas	44
5. Análisis Beneficio/Costo	48
6. Contextualización de la propuesta de estrategia	50
6.1. Metodología de investigación, recopilación y selección	50
6.1.1. Fase 1: Investigación exhaustiva de casos de éxito	51

6.1.2.	Fase 2: Análisis del contexto normativo y del diagnóstico de los sectores	51
6.1.3.	Fase 3: Visitas técnicas	52
6.2.	Informaciones generales sobre los grupos de medidas y tecnologías.....	53
6.2.1.	Sistemas de climatización y refrigeración sin refrigerantes	54
6.2.2.	Refrigeración y climatización que utilizan refrigerantes	55
6.2.3.	Control y operación.....	55
6.2.4.	Estrategias constructivas	56
6.2.5.	Distritos Térmicos.....	58
6.3.	Especificaciones de las Medidas y Tecnologías	59
6.3.1.	Contenido de las tablas	59
6.4.	Contextualización.....	60
6.4.1.	Recuperadores de calor.....	60
6.4.2.	Sistemas VRF o VRV	61
6.4.3.	Uso de equipos con etiqueta energética A y B - RETIQ - Refrigeración y Acondicionamiento de aire.....	62
6.4.4.	Puerta para gabinetes.....	66
6.4.5.	Solar + almacenamiento frío.....	67
6.4.6.	Compresor con variador.....	68
6.4.7.	Digitalización y control de sistemas.....	70
6.4.8.	Sistemas de refrigeración y chiller con bajo GWP (<100GWP)	71
6.4.9.	Control de fugas y aislamiento en tuberías (buenas prácticas)	73
6.4.10.	Ajuste y control de válvula de expansión para control del <i>superheat</i>	74
6.4.11.	Sistema con válvula de expansión electrónica	75
6.4.12.	Ventiladores y condensadores con variador.....	76
6.4.13.	Mantenimiento adecuado, buena operación con ambientes herméticos, ajuste óptimo del termostato y óptimo seteo de la temperatura	77
6.4.14.	Aislamiento en Muros y Techos	78
6.4.15.	Vidrios de Baja Emisividad (Low-E) y Vidrio Doble	79
6.4.16.	Materiales Térmicos y Diseño con Masa Térmica	80
6.4.17.	Protección Solar y Sombras Estratégicas.....	81
6.4.18.	Ventilación Natural y Ventilación Cruzada	82
6.4.19.	Cubiertas Frías (Cool Roofs).....	83
6.4.20.	Pinturas atérmicas	84

6.4.21.	Película de baja emisividad aplicada directamente en el lado interior de las ventanas o en el marco exterior de la ventana para permitir o evitar ganancias de calor .85	
6.4.22.	Sistemas centralizados (Distritos térmicos)	86
7.	Resultados totalizados por sector	88
7.1.	Diagnostico preliminar	88
7.2.	Resultados totalizados de los escenarios contemplados	98
8.	Análisis sectoriales	106
8.1.	Climatización.....	106
8.1.1.	Sector Terciario	106
8.1.1.1.	Estado actual	107
8.1.1.2.	Estrategias y/o tecnologías identificadas.....	110
8.1.1.3.	Escenarios contemplados	111
8.1.1.4.	Análisis B/C de las estrategias y/o tecnologías	114
8.1.2.	Sector Residencial.....	114
8.1.2.1.	Estado actual	114
8.1.2.2.	Estrategias y/o tecnologías identificadas.....	117
8.1.2.3.	Escenarios contemplados	118
8.1.2.4.	Análisis B/C de las estrategias y/o tecnologías	121
8.2.	Refrigeración.....	121
8.2.1.	Cadena de frío en alimentos.....	121
8.2.1.1.	Producción	123
8.2.1.1.1.	Estado actual.....	124
8.2.1.1.2.	Estrategias y/o tecnologías identificadas	126
8.2.1.1.3.	Escenarios contemplados	126
8.2.1.1.4.	Análisis B/C de las estrategias y/o tecnologías.....	128
8.2.1.2.	Procesamiento.....	129
8.2.1.2.1.	Estado actual.....	129
8.2.1.2.2.	Estrategias y/o tecnologías identificadas	132
8.2.1.2.3.	Escenarios contemplados	133
8.2.1.2.4.	Análisis B/C de las estrategias y/o tecnologías.....	134
8.2.1.3.	Empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes Cálido húmedo . 135	
8.2.1.3.1.	Estado actual.....	135

8.2.1.3.2.	Estrategias y/o tecnologías identificadas	138
8.2.1.3.3.	Escenarios contemplados	139
8.2.1.3.4.	Análisis B/C de las estrategias y/o tecnologías.....	141
8.2.1.4.	Terciario.....	142
8.2.1.4.1.	Estado actual.....	142
8.2.1.4.2.	Estrategias y/o tecnologías identificadas	145
8.2.1.4.3.	Escenarios contemplados	146
8.2.1.4.4.	Análisis B/C de las estrategias y/o tecnologías.....	148
8.2.1.5.	Residencial	149
8.2.1.5.1.	Estado actual.....	149
8.2.1.5.2.	Estrategias y/o tecnologías identificadas	151
8.2.1.5.3.	Escenarios contemplados	152
8.2.1.5.4.	Análisis B/C de las estrategias y/o tecnologías.....	153
8.2.1.6.	Transporte refrigerado.....	153
8.2.1.6.1.	Estado actual.....	154
8.2.1.6.2.	Estrategias y/o tecnologías identificadas	156
8.2.1.6.3.	Escenarios contemplados	157
8.2.1.6.4.	Análisis B/C de las estrategias y/o tecnologías.....	158
8.2.2.	Cadena de frío en salud.....	159
8.2.2.1.	Estado actual	159
8.2.2.2.	Estrategias y/o tecnologías identificadas.....	161
8.2.2.3.	Escenarios contemplados	162
8.2.2.4.	Análisis B/C de las estrategias y/o tecnologías	163
8.2.3.	Procesos industriales	164
8.2.3.1.	Estado actual	164
8.2.3.2.	Estrategias y/o tecnologías identificadas.....	167
8.2.3.3.	Escenarios contemplados	168
8.2.3.4.	Análisis B/C de las estrategias y/o tecnologías	169
9.	Nuevos modelos de negocio	170
9.1.	Cooling As a Service	170
9.2.	Renting.....	171
9.3.	Modelo de los Distritos térmicos	171

9.4.	Distritos térmicos	178
9.5.	Distritos térmicos en Colombia	179
9.5.1.	Distritos térmicos viables en Colombia	179
9.5.2.	Distritos térmicos en operación y desarrollo en Colombia	181
10.	Conclusiones y/o recomendaciones.....	187
11.	Referencias	189

Índice de tablas

Tabla 1.	Leyes y decretos que promueven la eficiencia energética en Colombia	20
Tabla 2.	Decretos y resoluciones referentes al uso de refrigerantes	25
Tabla 3.	Resoluciones que promueven la eficiencia energética en Colombia	26
Tabla 4.	Documentos CONPES que promueven la eficiencia energética en Colombia	29
Tabla 5.	Marco normativo de climatización y refrigeración en el sector residencial y terciario .	30
Tabla 6.	Marco normativo de climatización y refrigeración en procesos industriales	33
Tabla 7.	Marco regulatorio de climatización y refrigeración para el sector cadena de frio de comida	35
Tabla 8.	Incentivos tributarios en materia ambiental	36
Tabla 9.	Incentivos tributarios en materia energética	37
Tabla 10.	Marco regulatorio para distritos térmicos	39
Tabla 11.	Matriz resumen visitas nacionales e internacionales.....	44
Tabla 12.	Demanda de potencia térmica actual (2023) y proyectada (2030-2050) por tecnología	89
Tabla 13.	Demanda de energía eléctrica (2023) a nivel nacional por piso térmico proyectada a 2030-2050.....	89
Tabla 14.	Demanda de potencia térmica actual (2023) y proyectada (2030-2050) por piso térmico	91
Tabla 15.	Cantidad de refrigerante actual (2023) y futuro (2030-2050) a nivel nacional dado el uso de AC.....	91
Tabla 16.	Emisiones equivalentes de GEI emitidas a la atmósfera por piso térmico a nivel nacional	92
Tabla 17.	Inventario actual (2023) y futura (2030-2050) de refrigeración – demanda satisfecha	93

Tabla 18. Demanda de energía y combustible actual (2023) y futura (2030-2050) de refrigeración – demanda satisfecha94

Tabla 19. Demanda térmica actual (2023) y futura (2030-2050) de refrigeración – demanda satisfecha.....95

Tabla 20. Cantidad de refrigerantes actual (2023) y futura (2030-2050) de refrigeración – demanda satisfecha.....96

Tabla 21. Emisiones de GEI totales actual (2023) y futura (2030-2050) de refrigeración – demanda satisfecha.....97

Tabla 22. Clasificación de actividades económicas, adaptada para Colombia CIU revisión 4. 106

Tabla 23. Listado de estrategias identificadas para el sector terciario 110

Tabla 24. Evaluación costo beneficio de las estrategias y/o tecnología del sector terciario..... 114

Tabla 25. Demanda de energía eléctrica satisfecha en 2023 por piso térmico en el sector residencial 114

Tabla 26. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 por piso térmico debido al inventario satisfecho en el sector residencial 116

Tabla 27. Listado de estrategias identificadas para el sector residencial 117

Tabla 28. Evaluación costo beneficio de las estrategias y/o tecnología del sector residencial 121

Tabla 29. Descripción códigos CIU de cadena de frío en alimentos - producción 124

Tabla 30. Demanda energética 2022 para cadena de frío en alimentos-producción..... 124

Tabla 31. Emisiones equivalentes de CO₂ 2022 para cadena de frío en alimentos-producción 125

Tabla 32. Listado de estrategias identificadas para el subsector de producción..... 126

Tabla 33. Evaluación costo beneficio de las estrategias y/o tecnología del subsector producción 129

Tabla 34. Descripción códigos CIU de cadena de frío en alimentos - procesamiento..... 129

Tabla 35. Demanda energética 2023 para cadena de frío en alimentos-procesamiento 130

Tabla 36. Emisiones equivalentes de CO₂ para cadena de frío en alimentos-procesamiento. 131

Tabla 37. Listado de estrategias identificadas para el subsector de procesamiento 132

Tabla 38. Evaluación costo beneficio de las estrategias y/o tecnología del subsector procesamiento..... 135

Tabla 39. Descripción códigos CIU de cadena de frío en alimentos - empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes 135

Tabla 40. Demanda energética 2023 para cadena de frío en alimentos-empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes 136

Tabla 41. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 para cadena de frío en alimentos-empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes 137

Tabla 42. Listado de estrategias identificadas para el subsector empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes 139

Tabla 43. Evaluación costo beneficio de las estrategias y/o tecnología del subsector empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes 142

Tabla 44. Descripción códigos CIU de cadena de frío en alimentos – sector terciario 142

Tabla 45. Demanda energética 2023 para cadena de frío en alimentos- terciario 143

Tabla 46. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 para cadena de frío en alimentos- terciario .. 144

Tabla 47. Listado de estrategias identificadas para el subsector terciario 146

Tabla 48. Evaluación costo beneficio de las estrategias y/o tecnología del subsector terciario 148

Tabla 49. Demanda energética 2023 para cadena de frío en alimentos- refrigeración doméstica 149

Tabla 50. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 para cadena de frío en alimentos- refrigeración doméstica 150

Tabla 51. Listado de estrategias identificadas para el subsector de residencial..... 151

Tabla 52. Evaluación costo beneficio de las estrategias y/o tecnología del subsector residencial 153

Tabla 53. Descripción códigos CIU de cadena de frío en alimentos – transporte refrigerado 154

Tabla 54. Demanda energética 2023 para cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado 154

Tabla 55. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 para cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado 155

Tabla 56. Listado de estrategias identificadas para el subsector de transporte refrigerado... 156

Tabla 57. Evaluación costo beneficio de las estrategias y/o tecnología del subsector transporte refrigerado 158

Tabla 58. Demanda energética 2023 para cadena de frío en salud..... 159

Tabla 59. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 para cadena de frío en salud 160

Tabla 60. Listado de estrategias identificadas para el sector cadena de frío en salud 161

Tabla 61. Evaluación costo beneficio de las estrategias y/o tecnología del sector cadena de frío en salud 163

Tabla 62. Descripción códigos CIU de procesos industriales 164

Tabla 63. Demanda energética 2023 para procesos industriales 164

Tabla 64. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 para procesos industriales..... 166

Tabla 65. Listado de estrategias identificadas para el sector procesos industriales 167

Tabla 66. Evaluación costo beneficio de las estrategias y/o tecnología del sector procesos industriales..... 169

Tabla 67. Modelos de negocio para Cooling as a service 173

Tabla 68. Toneladas de refrigeración de los distritos térmicos en operación y en desarrollo 187

Índice de figuras

Figura 1. Tabla de rangos de eficiencia energética para refrigeradores y congeladores.....63

Figura 2. Ejemplo de Etiqueta RETIQ Refrigerador - Congelador64

Figura 3. Tablas de rangos de eficiencia energética para acondicionadores de aire64

Figura 4. Ejemplo de Etiqueta RETIQ para Acondicionador de Aire66

Figura 5. Tanque de almacenamiento de hielo.....67

Figura 6. Diferencia entre tarifa monómia promedio y tarifa horaria diferenciada68

Figura 7. Gráfico de potencia en función de la capacidad de un compresor de tornillo con y sin variador de frecuencia (VRF).....69

Figura 8. Ejemplo de un sistema de refrigeración con sistema completo de digitalización y control.....71

Figura 9. Válvula Electrónica76

Figura 10. Ejemplo de distrito térmico intramural87

Figura 11. Ejemplo de distrito térmico extramural.....88

Figura 12. Proyección de la demanda de potencia térmica (2023-2050) de climatización por tecnología a nivel nacional.....89

Figura 13. Proyección de demanda de energía eléctrica (2023-2050) de climatización por piso térmico a nivel nacional.....90

Figura 14. Proyección de la demanda de potencia térmica (2023-2050) de climatización por piso térmico a nivel nacional.....90

Figura 15. Proyección de la cantidad de refrigerante (2023-2050) de climatización a nivel nacional91

Figura 16. Proyección de emisiones equivalentes de CO₂ (2023-2050) por piso térmico a nivel nacional92

Figura 17. Inventario proyectado de refrigeración – demanda satisfecha.....93

Figura 18. Demanda de energía eléctrica proyectada de refrigeración – demanda satisfecha ..94

Figura 19. Demanda de potencia térmica proyectada de refrigeración – demanda satisfecha .95

Figura 20. Cantidad de refrigerante proyectado de refrigeración – demanda satisfecha96

Figura 21. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas de refrigeración – demanda satisfecha97

Figura 22. Escenario de demanda total de energía eléctrica nacional de refrigeración y sus posibles ahorros energéticos99

Figura 23. Escenario de demanda total de combustible nacional de refrigeración y sus posibles ahorros energéticos 100

Figura 24. Escenario de demanda total de energía (PJ) nacional de refrigeración y sus posibles ahorros energéticos 100

Figura 25. Escenario de cantidad de emisiones generadas a nivel nacional de refrigeración y sus posibles reducciones 101

Figura 26. Escenarios de demanda total de energía eléctrica nacional de climatización y sus posibles ahorros energéticos (gráfica 1) 103

Figura 27. Escenarios de demanda total de energía eléctrica Nacional de climatización y sus posibles ahorros (gráfica 2)..... 103

Figura 28. Escenario de demanda total de energía (PJ) Nacional de climatización y sus posibles ahorros energéticos (gráfica 1)..... 104

Figura 29. Escenario de demanda total de energía (PJ) Nacional de climatización y sus posibles ahorros energéticos (gráfica 2)..... 104

Figura 30. Escenario de cantidad de emisiones generadas a nivel Nacional de climatización y sus posibles reducciones (gráfica 1)..... 105

Figura 31. Escenario de cantidad de emisiones generadas a nivel Nacional de climatización y sus posibles reducciones (gráfica 2)..... 105

Figura 32. Demanda de energía eléctrica general de climatización del sector terciario 108

Figura 33. Porcentaje de distribución de emisiones totales emitidas por subsector en el sector terciario a 2023 en climatización..... 109

Figura 34. Emisiones totales generadas del sector terciario en climatización 109

Figura 35. Escenario de demanda total de energía eléctrica del sector terciario y sus posibles ahorros energéticos (gráficos 1)..... 111

Figura 36. Escenario de demanda total de energía eléctrica del sector terciario y sus posibles ahorros energéticos (gráficos 2)..... 111

Figura 37. Escenario de demanda total de energía (PJ) del sector terciario y sus posibles ahorros energéticos (gráficos 1)..... 112

Figura 38. Escenario de demanda total de energía (PJ) del sector terciario y sus posibles ahorros energéticos (gráficos 2)..... 112

Figura 39. Escenario de cantidad de emisiones generadas del sector terciario y sus posibles reducciones (gráficos 1)..... 113

Figura 40. Escenario de cantidad de emisiones generadas del sector terciario y sus posibles reducciones (gráficos 2)..... 113

Figura 41. Demanda de energía eléctrica satisfecha proyectada a 2050 por piso térmico en el sector residencial 115

Figura 42. Demanda de potencia eléctrica satisfecha 2023, y proyectada a 2030 y 2050 por piso térmico en el sector residencial 115

Figura 43. Proyección satisfecha de emisiones equivalentes de CO₂ 2023 por piso térmico en el sector residencial 116

Figura 44. Escenario de demanda total de energía eléctrica del sector residencial y sus posibles ahorros energéticos (gráficos 1)..... 118

Figura 45. Escenario de demanda total de energía eléctrica del sector residencial y sus posibles ahorros energéticos (gráficos 2)..... 118

Figura 46. Escenario de demanda total de energía (PJ) del sector residencial y sus posibles ahorros energéticos (gráficos 1)..... 119

Figura 47. Escenario de demanda total de energía (PJ) del sector residencial y sus posibles ahorros energéticos (gráficos 2)..... 119

Figura 48. Escenario de cantidad de emisiones generadas del sector residencial y sus posibles reducciones (gráficos 1)..... 120

Figura 49. Escenario de cantidad de emisiones generadas del sector residencial y sus posibles reducciones (gráficos 2)..... 120

Figura 50. Interpretación de códigos CIIU al NCAP 122

Figura 51. Componentes de la cadena de frío en alimentos según el NCAP 123

Figura 52. Demanda de energía eléctrica proyectada para cadena de frío en alimentos-producción 124

Figura 53. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en alimentos-producción 125

Figura 54. Escenario de demanda total de energía eléctrica del subsector producción y sus posibles ahorros energético 127

Figura 55. Escenario de demanda de combustible del subsector de producción y sus posibles ahorros energéticos 127

Figura 56. Escenario de demanda total de energía (PJ) del subsector producción y sus posibles ahorros energéticos 127

Figura 57. Escenario de cantidad de emisiones generadas del subsector producción y sus posibles reducciones 128

Figura 58. Demanda de energía eléctrica proyectada para cadena de frío en alimentos-procesamiento 130

Figura 59. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en alimentos-procesamiento 131

Figura 60. Escenario de demanda total de energía eléctrica del subsector procesamiento y sus posibles ahorros energéticos 133

Figura 61. Escenario de demanda total de energía (PJ) del subsector procesamiento y sus posibles ahorros energéticos 133

Figura 62. Escenario de cantidad de emisiones generadas del subsector procesamiento y sus posibles reducciones 134

Figura 63. Demanda de energía eléctrica proyectada para cadena de frío en alimentos-empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes 136

Figura 64. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en alimentos-empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes 138

Figura 65. Escenario de demanda total de energía eléctrica del subsector empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes y sus posibles ahorros energéticos 140

Figura 66. Escenario de demanda total de energía (PJ) del subsector empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes y sus posibles ahorros energéticos..... 140

Figura 67. Escenario de cantidad de emisiones generadas del subsector empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes y sus posibles reducciones 140

Figura 68. Demanda de energía eléctrica proyectada para cadena de frío en alimentos- terciario – CIIU 84..... 143

Figura 69. Demanda de energía eléctrica proyectada para cadena de frío en alimentos- terciario – CIIU 85..... 144

Figura 70. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en alimentos-terciario – CIIU 84 144

Figura 71. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en alimentos-terciario – CIIU 85 145

Figura 72. Escenario de demanda total de energía eléctrica del subsector terciario y sus posibles ahorros energéticos 147

Figura 73. Escenario de demanda total de energía (PJ) del subsector terciario y sus posibles ahorros energéticos 147

Figura 74. Escenario de demanda total de energía (PJ) del subsector terciario y sus posibles ahorros energéticos 148

Figura 75. Demanda de energía eléctrica proyectada para cadena de frío en alimentos-refrigeración doméstica 150

Figura 76. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en alimentos-refrigeración doméstica 151

Figura 77. Escenario de demanda total de energía eléctrica del subsector residencial y sus posibles ahorros energéticos 152

Figura 78. Escenario de demanda total de energía (PJ) del subsector residencial y sus posibles ahorros energéticos 152

Figura 79. Escenario de demanda total de energía (PJ) del subsector residencial y sus posibles ahorros energéticos 153

Figura 80. Demanda de energía eléctrica proyectada para cadena de frío en alimentos-transporte refrigerado..... 155

Figura 81. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en alimentos-transporte refrigerado..... 156

Figura 82. Escenario de demanda total de energía eléctrica del subsector transporte refrigerado y sus posibles ahorros energéticos..... 157

Figura 83. Escenario de demanda total de energía (PJ) del subsector transporte refrigerado y sus posibles ahorros energéticos 157

Figura 84. Escenario de cantidad de emisiones generadas del subsector transporte refrigerado y sus posibles reducciones 158

Figura 85. Demanda de energía eléctrica proyectada para cadena de frío en salud 160

Figura 86. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en salud..... 161

Figura 87. Escenario de demanda total de energía eléctrica del sector cadena de frío en salud y sus posibles ahorros energéticos 162

Figura 88. Escenario de cantidad de emisiones generadas del sector cadena de frío en salud y sus posibles reducciones 162

Figura 89. Escenario de cantidad de emisiones generadas del sector cadena de frío en salud y sus posibles reducciones 163

Figura 90. Demanda de energía eléctrica proyectada para procesos industriales..... 165

Figura 91. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para procesos industriales 166

Figura 92. Escenario de demanda total de energía eléctrica del sector procesos industriales y sus posibles ahorros energéticos 168

Figura 93. Escenario de demanda total de energía (PJ) del sector procesos industriales y sus posibles ahorros energéticos 168

Figura 94. Escenario de cantidad de emisiones generadas del sector procesos industriales y sus posibles reducciones 169

Figura 95. Distritos térmicos..... 178

Figura 96. Arquitectura de distritos térmicos con agua marina o fluvial 179

Figura 97. Arquitectura de distritos térmicos de refrigeración con energías renovables..... 179

Figura 98. Arquitectura de distritos térmicos de cogeneración con gas o energía solar 180

Figura 99. Arquitectura de distritos térmicos mixtos..... 181

Figura 100. Distritos térmicos en funcionamiento y en desarrollo en Colombia..... 181

Figura 101. Distritos térmicos en operación en Colombia 183

Figura 102. Distritos térmicos en desarrollo en Colombia. 185

1. Introducción

El Plan Nacional de Innovación y Tecnología (PNIT) en Eficiencia Energética para Climatización y Refrigeración en Colombia, surge como una respuesta estratégica en el marco del Plan de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional de Energía (PAI-PROURE 2022-2030). Este plan aborda la necesidad identificada de mejorar la eficiencia energética en sectores clave como la climatización y la refrigeración debido a su elevado consumo energético. El PAI-PROURE establece la prioridad de implementar tecnologías que puedan reducir el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Teniendo en cuenta lo anterior, el PNIT se plantea como un instrumento para facilitar la transición hacia un modelo energético más eficiente y sostenible alineado con los compromisos internacionales de Colombia en cambio climático.

En este contexto, se presenta el proyecto del Plan Nacional de Innovación y Tecnología en Eficiencia Energética para Climatización y Refrigeración en Colombia, que tiene como objetivo mejorar la eficiencia energética y reducir la cantidad de emisiones en el país, particularmente en los sectores de climatización y refrigeración. Este proyecto, financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) presentado a la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), propone la adopción de tecnologías más eficientes como; sistemas con bajo GWP, digitalización y control de los sistemas, sistemas con recuperación de calor, entre otros. Lo anterior, con el fin de buscar mejorar la reducción del consumo de energía y de las emisiones de CO₂ en Colombia.

El desarrollo de un plan para la climatización y refrigeración se fundamenta en el impacto de estos sistemas en el consumo energético nacional y en las emisiones de GEI, entendiendo que estos sectores representan una parte relevante del consumo energético en edificaciones, lo que los convierte en un foco estratégico para cualquier iniciativa dirigida a la mitigación del cambio climático.

En este marco, el proyecto contempla la realización de un diagnóstico del estado actual de la climatización y la refrigeración en Colombia, identificando tendencias, tecnologías emergentes y desafíos energéticos, económicos y ambientales tanto a nivel nacional como internacional. Se propone la implementación de tecnologías (medidas activas) y/o medidas pasivas y operativas que integradas, optimicen el uso de la energía; tales como la climatización pasiva, el uso de refrigerantes de bajo potencial de calentamiento global y la construcción sostenible. Estas tecnologías se priorizarán según su uso potencial, madurez tecnológica, reto de implementación y disponibilidad en el país, potencial de reducción de consumo de energía, reducción de emisiones equivalente de CO₂ a través de un análisis costo-beneficio en tres niveles (usuario, sistema y sociedad).

La adopción de estas tecnologías, en línea con los objetivos del PAI-PROURE, permitirá a Colombia avanzar en sus compromisos climáticos internacionales y fomentar un desarrollo económico responsable en términos ambientales y equitativo en sus beneficios. Además, el proyecto incluye la formulación de estrategias de implementación que comprenden la definición de objetivos claros, la consecución de recursos y un cronograma detallado de actividades, junto con indicadores para medir el impacto de las acciones. Los resultados esperados incluyen una propuesta para una reducción significativa en el consumo de energía y en las emisiones de GEI, contribuyendo así a la construcción de un sistema energético más sostenible alineado con las metas nacionales de eficiencia energética.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Definir un Plan en materia de climatización y refrigeración eficiente y sostenible para Colombia, que integre las diversas alternativas, estrategias y medidas de innovación tecnológica y establezca el beneficio costo de éstas; en procura del mejor uso de la energía y su consecuente reducción de emisiones de GEI.

2.2. Objetivo Específico

1. Realizar un estudio del estado actual de las actividades de climatización y refrigeración; identificando tendencias, tecnologías (incluyendo emergentes e inteligentes) y desafíos energéticos, así como económicos y ambientales a nivel nacional, e internacional.
2. Identificar las alternativas y tecnologías (refrigeración pasiva, aumento de la eficiencia y los refrigerantes de bajo potencial de calentamiento global, construcción sostenible, distritos térmicos, entre otras) que permitan atender la demanda según su potencial y análisis costo beneficio en los tres niveles (usuario, sistema y sociedad).
3. Priorizar las alternativas y tecnologías según su potencial en eficiencia energética y su análisis costo beneficio, considerando su madurez tecnológica, el reto de implementación y su aporte a la mitigación al cambio climático, como parte del Plan integral a formular.
4. Formular un Plan integral con enfoque técnico que promueva la innovación y la eficiencia energética en la climatización y refrigeración, abordando áreas clave como la innovación de sistemas, uso de refrigerantes sostenibles, uso de nuevos materiales para construcción sostenible, tecnologías inteligentes y prácticas de operación eficientes.
5. Proponer instrumentos de política y normatividad, así como otras directrices y recomendaciones para la implementación del Plan formulado, según su análisis técnico, social, económico y ambiental.

3. Alcance

El presente documento tiene como alcance el desarrollo de una metodología que permita diagnosticar el estado actual de la climatización y refrigeración en el país, incluyendo tecnologías disponibles, tendencias tecnológicas, desafíos energéticos y desarrollos emergentes, entre otras; así como también un paneo nacional e internacional del estado actual normativo y de mercado de la refrigeración y climatización por medio de al menos tres (3) experiencias nacionales y tres (3) internacionales que fueron acordadas con el BID y la UPME a través del diseño de una matriz multicriterio que permitió priorizar las visitas destino, con el fin de identificar las tecnologías y prácticas que están contribuyendo en la actualidad a la eficiencia energética, la reducción de emisiones y la sostenibilidad a nivel nacional e internacional.

Teniendo en cuenta lo anterior, a través del análisis detallado por tecnologías y determinación de su costo beneficio (B/C), se priorizan las estrategias y medidas según su potencial y análisis B/C. A partir de ello, se estructura la propuesta para la formulación del Plan con la identificación de las principales estrategias para su potencial implementación en los sectores residencial,

terciario e industrial principalmente, que integra recomendaciones prácticas y soluciones innovadoras para mejorar la eficiencia energética en el sector, teniendo en cuenta todas las soluciones pasivas, activas y operativas disponibles a nivel Nacional.

Por último, a partir del diagnóstico del estado actual respecto al consumo de refrigerante, cantidad de emisiones emitidas, consumo de energía eléctrica y cantidad de equipos existentes identificados a nivel nacional por sector económico, en conjunto con la identificación de estrategias para reducir las emisiones y el consumo de energía eléctrica con su respectivo análisis costo beneficio, se definen los instrumentos de política y normatividad, así como otras directrices y recomendaciones para la implementación del Plan formulado, según su análisis técnico, económico y ambiental.

4. Contextualización Nacional e Internacional

La refrigeración y climatización son componentes esenciales para la calidad de vida en los diversos sectores de consumo en Colombia, estos sistemas se utilizan tanto a nivel doméstico, como a nivel industrial y comercial; como en la cadena de frío, y la climatización en todo tipo de edificaciones.

Teniendo en cuenta la ubicación geográfica y la diversidad climática de Colombia, en el país se presenta una gran cantidad de soluciones de refrigeración y climatización con consumos energéticos diferenciados en zonas costeras y de bajas altitudes, donde las temperaturas son elevadas al igual que su humedad, el uso de aires acondicionados es más frecuente. Por otro lado, a lo largo de todo el territorio nacional se destaca el uso de refrigeración principalmente en el sector industrial, comercial y residencial; un ejemplo de esto es la conservación de alimentos o medicamentos.

A pesar de las metas y avances establecidos en Colombia, el país aún enfrenta retos significativos en el sector, lo que ha promovido la necesidad de modernizar las infraestructuras e invertir en tecnologías más limpias y eficientes que promuevan la eficiencia energética y logren reducir el impacto ambiental.

Teniendo en cuenta lo anterior, este apartado presenta el aspecto normativo y las políticas y metas de cambio climático a nivel nacional e internacional, y demás aspectos relevantes para la contextualización global del país.

4.1. Marco legal colombiano

En Colombia el sector de refrigeración y climatización representa una parte significativa del consumo energético, lo que ha llevado a la implementación de un marco normativo destinado a promover prácticas más eficientes y sostenibles. Teniendo en cuenta lo anterior, se presenta una visión del marco legal y normativo vigente en Colombia, a partir de las leyes, decretos y resoluciones que regulan el sector.

4.1.1. Leyes y decretos en eficiencia energética en Colombia

A continuación, se presentan las leyes y decretos que promueven la eficiencia energética en la refrigeración y climatización en Colombia.

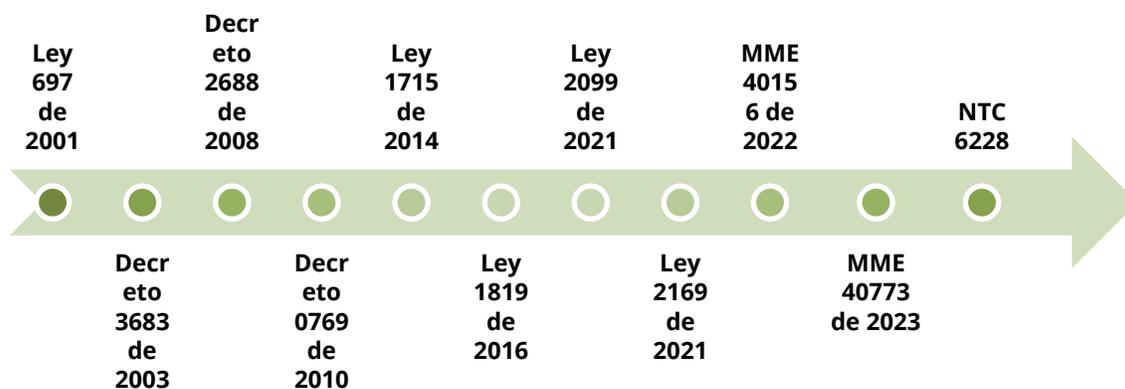


Tabla 1. Leyes y decretos que promueven la eficiencia energética en Colombia

Leyes y decretos	Nombre o asunto	Alcance
Ley 697 de 2001	Fomenta el uso racional y eficiente de la energía, y se promueve la utilización de energías alternativas.	<ul style="list-style-type: none"> Definición del URE¹ como el conjunto de acciones que tienen como objetivo optimizar el uso de la energía, minimizando el consumo de esta sin afectar la calidad de vida de los ciudadanos. Establece la obligación del gobierno a formular y desarrollar una política nacional de uso racional y eficiente de la energía, incluyendo metas para la promoción de la eficiencia energética. Fomenta la investigación, desarrollo e implementación de tecnologías eficientes en el uso de la energía, y estimula la educación y conciencia sobre la importancia de URE en Colombia. Además, la Ley establece mecanismos de financiamiento para proyectos de URE, así como el apoyo financiero a la implementación de medidas de eficiencia energética.
Decreto 3683 de 2003	Reglamenta el uso racional y eficiente de la energía	<ul style="list-style-type: none"> Asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad del mercado energético colombiano, la protección

¹ URE: Uso Eficiente y Racional de la Energía.

		<p>al consumidor y la promoción de fuentes no convencionales de energía.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Optimización del consumo energético en los sectores industrial, comercial y residencial. • Obligación de la entidades públicas y privadas de implementar programas de ahorro en el uso eficiente de la energía, esto a partir de la adopción de tecnologías eficientes y la realización periódica de auditorías energéticas.
Decreto 2688 de 2008	Gestión integral de la energía eléctrica en el país	<ul style="list-style-type: none"> • Establece lineamientos para promover el uso eficiente de la energía en todos los sectores de la economía colombiana. • Promueve prácticas de gestión y operación que minimicen el desperdicio de energía eléctrica, fomentando el uso responsable y eficiente de los recursos energéticos disponibles. • Establece requisitos técnicos específicos para equipos y sistemas que contribuyan a la eficiencia energética, como la adopción de tecnologías más avanzadas y menos consumidoras de energía. • Incentiva la educación y la sensibilización pública sobre la importancia de la eficiencia energética.
Decreto 0769 de 2010	Complementar la Política Nacional de Eficiencia Energética	<ul style="list-style-type: none"> • Establece criterios técnicos y normativos para la construcción y remodelación de edificaciones. • Enfatiza en la importancia de reducir el consumo de energía durante la vida útil de las edificaciones, teniendo en cuenta principalmente el uso de sistemas de climatización. • Promueve el uso de tecnologías renovables y el aprovechamiento de recursos naturales disponibles en el

		entorno como la luz natural y la ventilación cruzada.
Ley 1715 de 2014	Regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.	<ul style="list-style-type: none"> • Promover el uso eficiente y sostenible de estas. Dicha Ley establece un marco regulatorio que permite fomentar la inversión en tecnologías limpias, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y minimizando el impacto ambiental. • Establecer incentivos fiscales para la importación de equipos y tecnologías que utilicen energías renovables o mejoren la eficiencia energética del país. • Destaca la creación del Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE) con el fin de apoyar la financiación de proyectos que fomenten el uso de estas energías y la eficiencia energética. • Promueve la participación comunitaria y la generación distribuida, permitiendo que los usuarios produzcan su propia energía y vendan los excedentes al sistema eléctrico
Ley 1819 de 2016	Reforma Tributaria Estructural de Colombia	<ul style="list-style-type: none"> • Modernizar el sistema tributario del país, con el fin de mejorar la competitividad económica y aumentar los ingresos fiscales. • Impuestos ambientales, en donde se introdujeron nuevos impuestos para desincentivar el uso de productos y actividades que generan un alto impacto ambiental.
Ley 2099 de 2021	Política pública de transición energética en el país	<ul style="list-style-type: none"> • Fortalece el FENOGE ampliando su fuente de recursos y proyectos de financiación. • Creación de una plataforma de información para el registro de proyectos de FNCER y gestión eficiente de la energía (GEE).
Ley 2169 de 2021	Metas y medidas	<ul style="list-style-type: none"> • Contribuir a la meta de reducir las emisiones de GEI a nivel nacional.

	mínimas para alcanzar el carbono neutralidad y la resiliencia climática	<ul style="list-style-type: none"> • Establece la obligación a todas las entidades del orden nacional de establecer planes para alcanzar el carbono neutralidad en sus sedes principales al 2030. • Crea la Comisión de Estudio para la promoción y el desarrollo de los mercados de carbono en el país y ordena al Gobierno nacional desarrollar las condiciones, criterios, y el marco institucional, requerido para el fortalecimiento de estos mercados.
MME 40156 de abril de 2022	Adopta el Plan de Acción Indicativo 2022-2030 para el desarrollo del Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía, PROURE.	<ul style="list-style-type: none"> • Define objetivos y metas indicativas de eficiencia energética, acciones y medidas sectoriales y estrategias base para el cumplimiento de metas y se adoptan otras disposiciones. • El PAI-PROURE 2022-2030 tiene como visión a 2030 reducir la brecha tecnológica en el uso de la energía mediante la adopción de medidas, dispositivos y equipos costo-eficientes. Su apuesta es que la reconversión tecnológica del sector energético sea parte fundamental de su transformación y, por ende, del desarrollo sostenible de Colombia.
MME 40773 de diciembre de 2023	Expide el nuevo Reglamento Técnico de Instalaciones Térmicas (RETSIT).	<ul style="list-style-type: none"> • El reglamento técnico aplica a las instalaciones térmicas nuevas, a las ampliaciones que se efectúen a estas y a las personas que lleven a cabo actividades en las instalaciones objeto del reglamento.
Programas desarrollados enfocados en promoción ambiental		
Programa Línea verde	El programa "Línea Verde" del Ministerio de Ambiente de Colombia es una iniciativa orientada a promover la educación ambiental y la participación ciudadana en la protección del medio ambiente.	<ul style="list-style-type: none"> • Mi Huella de Carbono: Este programa busca sensibilizar a la población sobre el cambio climático y promover la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero. • Negocios Verdes: La Oficina de Negocios Verdes y Sostenibles trabaja en la consolidación de un ecosistema de negocios sostenibles que promuevan la economía local, la

		<p>conservación de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lineamientos Ambientales: El Ministerio ofrece directrices y guías técnicas para el manejo ambiental en diferentes sectores, como infraestructura vial y transporte sostenible.
NTC 6228 y sus 4 partes	Normas Técnicas Colombianas sobre el manejo seguro de sistemas de refrigeración y refrigerantes	<ul style="list-style-type: none"> • Las Normas Técnicas Colombianas (NTC) 6228, y sus partes 1, 2, 3 y 4, corresponden a sistemas de refrigeración y bombas de calor. • En el 2013, el Minambiente a través de la UTO, solicitó al Icontec la propuesta para la adopción de las normas técnicas para uso seguro y eficiente de refrigerantes. • La norma NTC 6228-2019 reconoce la necesidad de reemplazar los refrigerantes sintéticos CFC que han favorecido la destrucción de la capa de ozono abriendo agujeros en ella, y los HCFC, que, si bien no son agresivos con la capa de ozono, poseen un alto potencial de calentamiento global, contribuyendo ambos al deterioro del medio ambiente.

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Normativa relacionada al uso de refrigerantes

Con respecto al tema ambiental a continuación, se relaciona la normativa colombiana relacionada con el uso de refrigerantes.

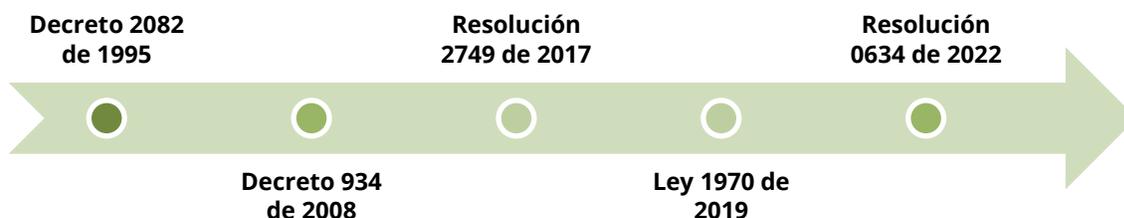


Tabla 2. Decretos y resoluciones referentes al uso de refrigerantes

Normativa	Nombre o asunto	Alcance
Decreto 2082 de 1995	Promulga el Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono,	<ul style="list-style-type: none"> • Cada Parte velará porque, en el período de doce meses contados a partir del primer día del séptimo mes siguiente a la fecha de entrada en vigor del presente Protocolo, y en cada período sucesivo de doce meses, su nivel calculado de consumo de las sustancias controladas que figuran en el Grupo I del Anexo A no supere su nivel calculado de consumo de 1986. • Entro de los cinco años siguientes a la entrada en vigor del presente Protocolo, las Partes determinarán la posibilidad de prohibir o restringir la importación de productos elaborados, pero que no contengan sustancias controladas, procedentes de cualquier Estado que no sea Parte en el presente Protocolo.
Decreto 934 de 2008	Enmienda del Protocolo de Montreal Relativo a las sustancias que agotan la capa de Ozono	<ul style="list-style-type: none"> • Promulgase la "Enmienda del Protocolo de Montreal Relativo a las sustancias que agotan la capa de Ozono" adoptada en Beijing, China el tres (3) de diciembre de 1999.
Resolución 2749 de 2017	Normativa para el Control del Consumo de las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono	<ul style="list-style-type: none"> • El marco normativo es la parte fundamental que soporta las estrategias planteadas y adelantadas por la Unidad Técnica Ozono (UTO) en términos de control de importaciones, exportaciones, usos, aprobación de enmiendas y establecimiento de mecanismos de control y seguimiento para las actividades relacionadas con las Sustancias Agotadoras de Ozono. • Se establecen medidas para controlar la importación de las sustancias agotadoras de la capa de ozono listadas en los grupos II y III del Anexo C del Protocolo de Montreal.
Ley 1972 de 2019	Por medio de la cual se establece la protección de los derechos a la salud y al medio ambiente sano estableciendo medidas tendientes a la reducción de	<ul style="list-style-type: none"> • La presente ley tiene por objeto establecer medidas tendientes a la reducción de emisiones contaminantes al aire provenientes de fuentes móviles que circulen por el territorio nacional. • Por medio de esta se busca formular, implementar y hacer seguimiento a los nuevos programas de reducción de la

	emisiones contaminantes	contaminación en los municipios y distritos, identificando acciones y medidas que permitan reducir los niveles de concentración de los contaminantes a niveles por debajo de los máximos establecidos.
Resolución 0634 de 2022	Se entiende prohibida la fabricación e importación de equipos y productos con sustancias agotadoras de Ozono	<ul style="list-style-type: none"> • Se prohíbe la fabricación y la importación de equipos y productos que contengan y/o requieran para su operación o funcionamiento sustancias agotadoras de la capa de ozono. • En desarrollo del protocolo Montreal se prohíbe la importación de equipos y sistemas tanto para la refrigeración como para el acondicionamiento de aire cuando estos requieran para su operación y funcionamiento sustancias controladas en los anexos A, B y C del protocolo de Montreal.

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Resoluciones referentes a etiquetado y sostenibilidad energética en Colombia

A partir de las leyes y decretos mencionados anteriormente, se han expedido diferentes resoluciones que regulan el uso eficiente de la energía, en la tabla a continuación se presentan las regulaciones emitidas en términos de etiquetado energético en Colombia.



Tabla 3. Resoluciones que promueven la eficiencia energética en Colombia

Leyes y decretos	Nombre o asunto	Alcance
Resolución 41012 de 2015	Reglamento técnico de etiquetado - RETIQ	<ul style="list-style-type: none"> • Regular el etiquetado de eficiencia energética de equipos y aparatos eléctricos, con el fin de proporcionar información clara y comprensible a los

		<p>consumidores sobre el consumo energético.</p> <ul style="list-style-type: none"> • El RETIQ se aplica a una amplia gama de equipos y aparatos eléctricos, incluyendo refrigeradores, congeladores, lavadoras, secadoras, aires acondicionados, motores eléctricos, y otros electrodomésticos de uso residencial y comercial. • Todos los equipos y aparatos incluidos en el ámbito de aplicación del RETIQ deben llevar una etiqueta de eficiencia energética.
Resolución 549 de 2015	Parámetros y lineamientos de construcción sostenible y se adopta la guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones.	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer los porcentajes mínimos y medidas de ahorro en agua y energía a alcanzar en las nuevas edificaciones y adoptar la guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones. • Propuesta de referencia de medidas de implementación, pasivas y activas, para alcanzar el cumplimiento de los porcentajes de ahorro mínimos establecidos. • Uso de sistemas mecánicos y/o eléctricos para crear condiciones de confort al interior de las edificaciones. • Aprovechamiento de las condiciones ambientales del entorno, maximizando las fuentes de control térmico, ventilación y reducción energética para crear condiciones de confort.
Resolución UPME 585 de 2017	Distritos térmicos	<ul style="list-style-type: none"> • Medidas y acciones de eficiencia energética en energía eléctrica (fuerza motriz, aire acondicionado, refrigeración, iluminación, calor directo e indirecto). • Red de distribución que produce vapor, agua caliente, y agua helada, a partir de una planta central, y que transporta estos productos por tuberías a las edificaciones cercanas, con el fin de proporcionar servicios de acondicionamiento térmico de espacios.
Resolución UPME 196 de 2020	Regular el desarrollo y la integración de las	<ul style="list-style-type: none"> • Establece los objetivos y metas del plan para mejorar la confiabilidad, seguridad,

	infraestructuras eléctricas en el país	<p>eficiencia y expansión del sistema eléctrico nacional.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Define los incentivos y beneficios que pueden ofrecerse para promover la participación del sector privado y la inversión en proyectos de interconexión. • Establece mecanismos de monitoreo, seguimiento y evaluación para garantizar el cumplimiento de los objetivos del plan y la eficiencia en la ejecución de los proyectos.
Resolución 40420 de 2021	Medidas relacionadas con la vigencia de algunos requisitos aplicables a equipos acondicionadores de aire, refrigeradores y/o congeladores de uso comercial y cocinas de alta potencia objeto del RETIQ.	<ul style="list-style-type: none"> • Medidas relacionadas con la vigencia de algunos requisitos aplicables a equipos acondicionadores de aire, refrigeradores y/o congeladores. • El Ministerio de Minas y Energía establecerá los rangos de eficiencia energética para los equipos de aire acondicionado objeto del RETIQ. • Suspender la entrada en vigor de los nuevos valores para los rangos de eficiencia energética de equipos de aire acondicionado objeto del RETIQ.

Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Documentos CONPES referentes a eficiencia energética y cambio climático

El Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES) funciona como máxima autoridad nacional en términos de Planeación, así mismo, se desempeña como organismo asesor del gobierno en aspectos como el desarrollo económico y social del país. Por lo cual, el gobierno nacional ha formulado diferentes documentos CONPES en pro de mejorar la eficiencia energética que permita la transición del país hacia una matriz energética más sostenible y eficiente. Los CONPES relacionados con el Plan de Innovación en Refrigeración y Climatización se describen a continuación.

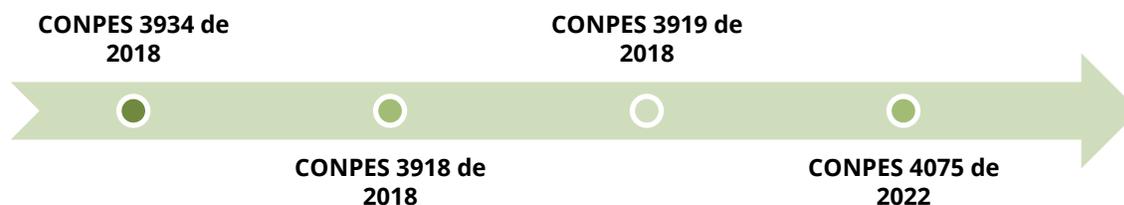


Tabla 4. Documentos CONPES que promueven la eficiencia energética en Colombia

CONPES	Nombre	Alcance
CONPES 3934 de 2018	Política de crecimiento verde	<ul style="list-style-type: none"> Fortalecer los mecanismos y los instrumentos para optimizar el uso de recursos naturales y energía en la producción y en el consumo. Desarrollar lineamientos para construir capital humano para el crecimiento verde.
CONPES 3918 de 2018	Estrategia para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en Colombia	<ul style="list-style-type: none"> Traza indicadores y metas encaminadas a consolidar un modelo de desarrollo sostenible para el país con un horizonte a 2030. Establece los indicadores de seguimiento y resultado, y las metas regionales que permitan promover esfuerzos diferenciados, para lograr un cierre de brechas en los avances del país hacia el desarrollo sostenible
CONPES 3919 DE 2018	Política nacional de edificaciones sostenibles	<ul style="list-style-type: none"> Impulsar la inclusión de criterios de sostenibilidad para todos los usos y dentro de todas las etapas del ciclo de vida de las edificaciones. Mitigar los efectos negativos de la actividad edificadora sobre el ambiente, mejorar las condiciones de habitabilidad y generar oportunidades de empleo e innovación. Promoción de actividades productivas y de consumo responsables que pueden ser fortalecidas para lograr el uso eficiente de los recursos asociados a su desarrollo.
CONPES 4075 de 2022	Política de Transición Energética	<ul style="list-style-type: none"> Establecer y desarrollar estrategias y acciones para mejorar el conocimiento y la innovación asociados a la transición energética aplicada en los sectores de tal forma que se promueva el despliegue de nuevas tecnologías más eficientes y limpias. Desarrollar un sistema energético que contribuya a disminuir las emisiones de GEI para reducir los impactos al medio ambiente y cumplir con los compromisos internacionales de reducción de emisiones

Fuente: Elaboración propia

4.2. Normativa vigente de climatización y refrigeración para espacios climatizados en edificaciones

El marco normativo de los sistemas de climatización y refrigeración en los sectores residencial y terciario busca garantizar la seguridad, eficiencia energética y sostenibilidad ambiental a partir del uso responsable de los recursos energéticos que minimicen el impacto ambiental.

A continuación, se detalla el marco normativo asociado al uso de sistemas de climatización y refrigeración en el sector residencial y terciario en Colombia.

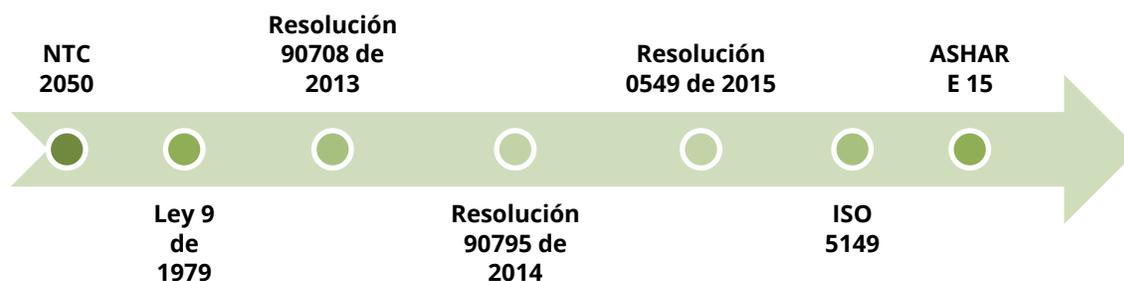


Tabla 5. Marco normativo de climatización y refrigeración en el sector residencial y terciario

Normativa	Nombre	Alcance
NTC 2050	Código eléctrico colombiano	<ul style="list-style-type: none"> El objetivo de este código es la salvaguardia de las personas y de los bienes contra los riesgos que pueden surgir por el uso de la electricidad. Este código contiene disposiciones que se consideran necesarias para la seguridad. El cumplimiento de estas y el mantenimiento adecuado darán lugar a una instalación prácticamente libre de riesgos, pero no necesariamente eficiente, conveniente o adecuada para el buen servicio o para ampliaciones futuras en el uso de la electricidad. Este código cubre: Las instalaciones de conductores y equipos eléctricos en o sobre edificios públicos y privados y otras estructuras, incluyendo casas móviles, vehículos de recreo y casas flotantes, y otras instalaciones como patios, parques de atracciones, estacionamientos, otras áreas similares y subestaciones industriales.

<p>Ley 9 de 1979</p>	<p>Por la cual se dictan Medidas Sanitarias con respecto a las emisiones atmosféricas</p>	<ul style="list-style-type: none"> Las normas de emisión de sustancias contaminantes de la atmósfera se refieren a la tasa de descarga permitida de los agentes contaminantes, teniendo en cuenta los factores topográficos, meteorológicos y demás características de la región. Para el funcionamiento, ampliación o modificación de toda instalación, que por sus características constituya o pueda constituir una fuente de emisión fija, se deberá solicitar la autorización del Ministerio de Salud o la entidad en que éste delegue. Impedir y condicionar la circulación de fuentes móviles, cuando por las características del modelo, combustible o cualquier factor, exista la posibilidad de ser inoperante cualquier medida correctiva.
<p>Resolución 90708 de 2013</p>	<p>Expide el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE</p>	<ul style="list-style-type: none"> Establece los requisitos y ensayos mínimos aplicables a los equipos y productos con el fin de promover su adecuada utilización fijando los parámetros mínimos de calidad, desempeño y seguridad. Unificar los requisitos de seguridad para los productos eléctricos de mayor utilización, con el fin de asegurar la mayor confiabilidad en su funcionamiento. Exigir requisitos para contribuir con el uso racional y eficiente de la energía y con esto a la protección del medio ambiente.
<p>Resolución 90795 de 2014</p>	<p>Aclara y corrige unos yerros en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, Retie</p>	<ul style="list-style-type: none"> Modificó la tabla de productos objeto del Retie del anexo general de la Resolución 90708 del 30 de agosto de 2013
<p>Resolución 0549 de 2015</p>	<p>Requisitos de sostenibilidad en el marco del programa FRECH NO VIS</p>	<ul style="list-style-type: none"> El programa FRECH NO VIS acredita que la vivienda cumple con los requisitos de sostenibilidad. La vivienda debe cumplir con los porcentajes mínimos de ahorro en consumos de agua y energía establecidos en la Resolución 0549 de 2015, o la norma que la adicione, modifique o sustituya. La vivienda Deberá cumplir con la incorporación de medidas que permitan alcanzar un puntaje mínimo requerido para la obtención de los niveles de certificación.

<p>RITE 2017</p>	<p>Reglamento técnico de instalaciones térmicas en edificaciones</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Establece las pautas mínimas a nivel de confort, eficiencia energética, protección del medio ambiente y seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas en las edificaciones destinadas a atender la demanda de bienestar e higiene de las personas, durante su diseño y dimensionado, ejecución, mantenimiento y uso, así como determinar los procedimientos que permitan acreditar su cumplimiento. • El RITE se aplicará a las instalaciones térmicas en las edificaciones de nueva construcción y a las instalaciones térmicas en las edificaciones existentes, en lo relativo a su reforma, mantenimiento, uso e inspección, con las limitaciones que en el mismo se determinan.
<p>Guía ACAIRE</p>	<p>Guía ACAIRE de acondicionamiento de aire para establecimientos hospitalarios y similares</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tiene como propósito fijar unos parámetros mínimos a la hora de diseñar, suministrar, montar y mantener sistemas de aire acondicionado y ventilación mecánica para hospitales, clínicas y centros de salud en Colombia y en general Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud en Colombia. • El diseño, suministro, instalación y mantenimiento de los sistemas de aire acondicionado, calefacción y ventilación para Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud debe cumplir con los lineamientos de esta norma y los del Reglamento de Instalaciones Térmicas En Edificaciones – RITE.
<p>Normas internacionales adoptadas por Colombia</p>		
<p>ISO 5149</p>	<p>Detalla los requisitos de seguridad y cuestiones medioambientales relacionados con los sistemas de refrigeración y las bombas de calor</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Define los requisitos generales para el diseño, construcción y montaje de sistemas de refrigeración y bombas de calor. • Establece los procedimientos para la prueba y documentación de los sistemas para garantizar que cumplan con los estándares de seguridad. • Garantiza que los sistemas de refrigeración y bombas de calor sean seguros, eficientes y respetuosos con el medio ambiente, cumpliendo con los estándares

		internacionales de seguridad y sostenibilidad.
ASHARE 15	Normas de Seguridad para Sistemas de Refrigeración	<ul style="list-style-type: none"> Fue publicada por la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE), establece requisitos de seguridad para el diseño, construcción, instalación y operación de sistemas de refrigeración. Su objetivo es proteger a las personas, la propiedad y el medio ambiente contra los peligros asociados con los sistemas de refrigeración. La norma busca evitar daños materiales y estructurales causados por fugas de refrigerantes, explosiones o incendios, y minimizar el impacto ambiental mediante la regulación del uso y manejo de refrigerantes.

Fuente: Elaboración propia

4.3. Normativa vigente de climatización y refrigeración en procesos industriales

En el sector industrial se han implementado regulaciones y guías técnicas que permiten asegurar que los sistemas de climatización y refrigeración en el sector industrial operen de manera eficiente, esto cumpliendo con las normas ambientales y de salud pública en Colombia. La normativa vigente se presenta a continuación.

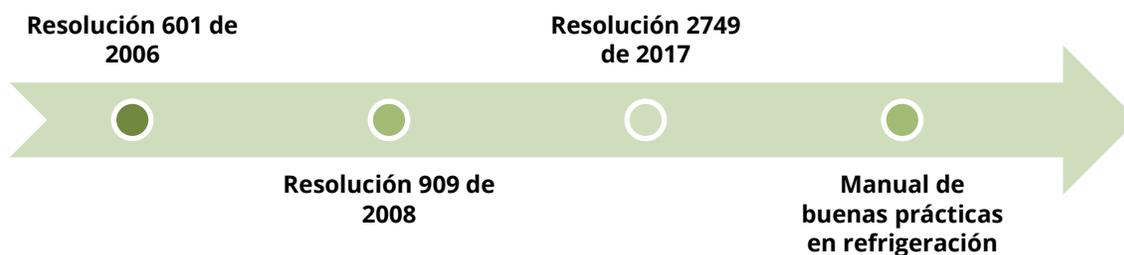


Tabla 6. Marco normativo de climatización y refrigeración en procesos industriales

Normativa vigente	Nombre	Alcance
Resolución 601 de 2006	Niveles Máximos Permisibles para Contaminantes	<ul style="list-style-type: none"> Establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión, con el propósito de garantizar un ambiente sano y minimizar los riesgos sobre la salud humana que puedan ser causados por la

		<p>concentración de contaminantes en el aire ambiente.</p> <ul style="list-style-type: none"> Se establecen los niveles máximos permisibles en condiciones de referencia para contaminantes criterio.
Resolución 909 de 2008	<p>Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para fuentes fijas Puntuales de actividades industriales</p>	<ul style="list-style-type: none"> Se establecen los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las actividades industriales definidas en el Artículo 6 de la resolución. Se establecen las actividades industriales y los contaminantes que cada una de las actividades industriales debe monitorear. La autoridad ambiental competente solicitará el cumplimiento de todos los contaminantes a monitorear, a las actividades industriales que se encuentran en la categoría de “Otras actividades industriales” y que no se encuentren incluidas en los capítulos posteriores de la presente resolución, a menos que el industrial demuestre con información relativa al proceso que adelanta y por medio de medición directa, uso de factores de emisión.
Resolución 2749 de 2017	<p>Prohíbe la importación de las sustancias agotadoras de la capa de ozono listadas en el protocolo de Montreal.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Prohíbe la importación de sustancias agotadoras de la capa de ozono listadas en los grupos II y III del Anexo C del protocolo de Montreal. Establece medidas para controlar las importaciones de las sustancias agotadoras de la capa de ozono listadas en el grupo I del Anexo C del protocolo de Montreal.
Manuales y guías de climatización y refrigeración		
Manual de buenas prácticas en refrigeración	Manual de buenas prácticas en refrigeración	<ul style="list-style-type: none"> estrategias que desarrolla el País para el cumplimiento de las metas establecidas en el Protocolo de Montreal para la eliminación de las sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO) y para reducir las prácticas inadecuadas que se realizan aún en Colombia.

Fuente: Elaboración propia

4.4. Normativa vigente de climatización y refrigeración para el sector cadena de frio de comida.

En cuanto a la cadena de frio, detalla el manejo adecuado de la temperatura en el almacenamiento, transporte y distribución de alimentos y productos sensibles al frío. A continuación, se detalla la normativa vigente para dicho sector.



Tabla 7. Marco regulatorio de climatización y refrigeración para el sector cadena de frio de comida

Normativa vigente	Nombre	Alcance
Decreto 2162 de 1983	Reglamenta parcialmente el Título V de la Ley 09 de 1979, en cuanto a Producción, Procesamiento, Transporte y Expendio de los Productos Cárnicos Procesados.	<ul style="list-style-type: none"> Los productos cárnicos procesados que se elaboren empaquen, transporten, comercialicen o consuman en el territorio nacional, deberán someterse a las disposiciones del presente Decreto y a las complementarias que en desarrollo de este o con fundamento en la ley dicte el Ministerio de Salud. Las cámaras frigoríficas destinadas al almacenamiento y conservación de las carnes deberán tener capacidad suficiente para la recepción diaria y disponer de suficientes espacios libres que faciliten la circulación y la revisión de los canales. Las cámaras frigoríficas deberán estar provistas de termómetros de máxima y mínima, higrómetro, rieles y ganchos para el izado de las canales. Las cámaras frigoríficas para almacenamiento de carnes estarán a una temperatura de 0 a 4°C y a una humedad relativa de 90 a 95%. Además, cuando se almacenen carnes por tiempo prolongado, en planta deberá poseer

		cámaras de congelación que garanticen que los productos se mantengan a temperaturas no superiores a -18°C.
Resolución 2505 de 2004	Condiciones que deben cumplir los vehículos para transportar carne, pescado o alimentos fácilmente corruptibles	<ul style="list-style-type: none"> Regular las condiciones mínimas que deben cumplir los vehículos que transporten carne, pescado o alimentos fácilmente corruptibles, en todo el territorio nacional. Las partes interiores de la unidad de transporte, incluyendo techo y piso deben ser herméticas, así como los dispositivos de cierre de los vehículos y de ventilación y circulación interna de aire, deben estar fabricadas con materiales resistentes a la corrosión, impermeables, con diseños y formas que no permitan el almacenamiento de residuos y que sean fáciles de limpiar, lavar y desinfectar. Adicionalmente las superficies deben permitir una adecuada circulación de aire.
Ley 1972 de 2019	Reducción de emisiones contaminantes al aire provenientes de fuentes móviles	<ul style="list-style-type: none"> La presente ley tiene por objeto establecer medidas tendientes a la reducción de emisiones contaminantes al aire provenientes de fuentes móviles que circulen por el territorio nacional, haciendo énfasis en el material particulado, con el fin de resguardar la vida, la salud y el ambiente sano.

Fuente: Elaboración propia

4.5. Incentivos tributarios por inversiones en FNCE y Eficiencia Energética

Los programas de incentivos tributarios asociados a proyectos de eficiencia energética en refrigeración y climatización están diseñados para fomentar la adopción de tecnologías y prácticas que reduzcan el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero en estos sectores. Estos programas incluyen beneficios fiscales en materia ambiental y en materia energética tal como se muestra en las **Tabla 8** y **Tabla 9** a continuación.

Tabla 8. Incentivos tributarios en materia ambiental

Incentivo tributario	Marco regulatorio y Normativo	Descripción
<ul style="list-style-type: none"> Exclusión de IVA 	Resolución MADS 978 de 2007	Se establecen los requisitos y procedimiento para obtener el

		certificado de exclusión de IVA que trata el artículo 428 literal f y literal i.
	Artículo 424, numeral 7 del estatuto tributario	Exclusión de IVA para equipos y elementos nacionales o importados que sean utilizados en sistemas de control y monitoreo del medio ambiente que permita cumplir con regulaciones y estándares ambientales vigentes.
	Artículo 428, literal f del estatuto tributario	Exclusión de IVA en la importación de maquinaria y equipo destinados a proyectos de conservación y mejoramiento del medio ambiente.
	Artículo 428, literal i del estatuto tributario	Exclusión de IVA para la importación de maquinaria y equipos destinados a proyectos exportadores de certificados de reducción de carbono.
	Decreto 1625 de 2016	Reglamentación de los incentivos tributarios en materia ambiental.
	Decreto 1564 de 2017	Modificación parcial del Decreto 1625 de 2016 relacionados con los artículos que tratan el incentivo de exclusión de IVA.
	Resolución 2000 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Se establecen los requisitos y procedimiento para obtener el certificado de exclusión de IVA que trata el artículo 424, numeral 7
<ul style="list-style-type: none"> • Descuento en el impuesto de renta 	Artículo 255 del estatuto tributario	Descuento del 25% de la inversión en proyectos de control, conservación y mejoramiento del medio ambiente para las personas jurídicas.
	Decreto 1625 de 2016	Reglamentación de los incentivos tributarios en materia ambiental.
	Decreto 2205 de 2017	Modificación parcial del Decreto 1625 de 2016 relacionado con el artículo 255.
	Resolución MADS 509 de 2018	Se establecen los requisitos y procedimiento para obtener el certificado de descuento en renta que trata el artículo 255.
Certificado que acredita la obtención de incentivos tributarios		
<p>Para obtener los incentivos tributarios se debe solicitar un certificado ambiental ante las autoridades ambientales del país. El certificado para la exclusión de IVA debe ser solicitado ante la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). En cuanto al incentivo de descuento en renta, dicho certificado debe ser solicitado ante la Corporación Autónoma Regional (CAR) competente o ante la ANLA.</p>		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Incentivos tributarios en materia energética

Incentivo tributario	Marco regulatorio y Normativo	Descripción
<ul style="list-style-type: none"> • Exclusión del IVA • Deducción del 50% del proyecto del impuesto de renta • Exención de arancel • Depreciación acelerada 	Ley 1715 de 2014	Se establecen los incentivos tributarios de exclusión de IVA, deducción de renta, exención de arancel y depreciación acelerada para proyectos de FNCE.
	Decreto 2143 de 2015	Reglamentación de los incentivos tributarios definidos en la Ley 1715 de 2014.
	Ley 1955 de 2019	Expedición del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022. “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad”. Se modifica el incentivo de deducción en renta definido en el artículo 11 de la Ley 1715 de 2014; y se establece los inversores de energía, paneles solares y controladores de carga como bienes que no causan el impuesto de IVA.
	Ley 2099 de 2021	Se modifican los artículos 11 al 14 de Ley 1715 de 2014, ampliando los incentivos tributarios a proyectos de GEE.
	Resolución UPME 464 de 2021	Se establecen las tarifas a cobrar por parte de la UPME para la expedición del certificado para acceder a los incentivos tributarios en proyectos de FNCE y GEE.
	Resolución UPME 319 de 2022	Se establecen los requisitos y procedimiento para la evaluación y emisión del certificado para acceder a los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014.
	Resolución UPME 468 de 2022	Se establece el procedimiento para solicitar la inclusión de elementos, equipos, maquinaria y/o servicios a la lista de bienes y servicios susceptibles de aplicar a los incentivos tributarios de proyectos de FNCE, GEE e hidrógeno.
Certificado que acredita la obtención de incentivos tributarios		
Para obtener los incentivos tributarios se debe solicitar un certificado ante la (UPME).		

Fuente: Elaboración propia

4.6. Marco normativo para distritos térmicos en Colombia

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 10. Marco regulatorio para distritos térmicos

Marco Normativo	Alcance	Descripción
Ley 697 de 2001	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>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.
Resolución 5 de 2010	Determinan los requisitos y condiciones técnicas que deben cumplir los procesos de cogeneración, además de la regulación de esta actividad.	<p>Define el concepto de cogeneración y cogenerador y define que los excedentes de cogeneración en la autogeneración pueden ser comercializados.</p> <p>Además, establece que los Cogeneradores Nuevos deberán certificar un REE superior al mínimo exigido, así como la producción mínima de energía eléctrica y térmica.</p> <p>Por otro lado, los Cogeneradores Existentes deberán certificar el REE de su proceso y el</p>

		<p>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>
Ley 1715 de 2014	<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>
Decreto Único Ambiental 1076 de 2015	<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>
Resolución 585 de 2017	<p>Establecer el procedimiento para evaluar y emitir 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.</p>	<p>Por la cual se establece el procedimiento para conceptuar sobre los proyectos de eficiencia energética/gestión eficiente de energía que se 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.</p>
Resolución 030 de 2018	<p>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.</p>	<p>Aplica a los auto generadores a pequeña escala y generadores distribuidos conectados al SIN, a los comercializadores que los atienden, a los operadores de red y transistores nacionales.</p>
Ley 2099 de 2021	<p>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</p>	<p>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</p>

	de la energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético de la Nación.	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)

4.7. Panorama internacional

Por otro lado, respecto a la contextualización internacional, se identifica a modo resumen las principales características en materia de refrigeración y climatización de países referencia a continuación. El análisis más detallado de la contextualización internacional se encuentra en el anexo “Volumen I Mapeo general” de este proyecto.

4.7.1. Estados Unidos

En los Estados Unidos, la **coordinación entre diversas agencias gubernamentales** ha sido esencial para desarrollar e implementar políticas efectivas en eficiencia energética. Agencias como el Departamento de Energía (DOE), la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y el Programa Federal de Gestión de Energía (FEMP) trabajan conjuntamente para promover la eficiencia energética en sistemas de climatización y refrigeración. Esta colaboración interinstitucional permite abordar los desafíos de manera integral y desarrollar soluciones más completas y efectivas. Un aspecto clave de esta estrategia es la **coherencia regulatoria**, que asegura que las normas y regulaciones se apliquen de manera uniforme en todos los sectores y regiones. Esto permite una implementación consistente y equitativa de las políticas, maximizando su impacto positivo en la eficiencia energética y en la sostenibilidad.

El Programa Federal de Gestión de Energía (FEMP) se destaca por su enfoque para la reducción del consumo energético en instalaciones federales a través de la **colaboración público-privada**. Esta colaboración es fundamental para enfrentar los desafíos complejos relacionados con la gestión de la energía en más de 350,000 edificios. El FEMP colabora con empresas privadas para **identificar y aplicar tecnologías avanzadas y prácticas innovadoras** en sistemas HVACR. Esta cooperación incluye la **implementación de proyectos piloto** y el **aprovechamiento de fuentes de financiamiento**.

4.7.2. México

El **robusto marco regulatorio** establecido por las Normas Oficiales Mexicanas (NOMs) y las Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética (NOM-ENER) promueve la adopción de equipos de climatización y refrigeración eficientes en México. Estas regulaciones incluyen **requisitos obligatorios** para la eficiencia energética y el uso de refrigerantes con bajo potencial de calentamiento global, asegurando que solo se comercialicen en el país productos que cumplan con estándares elevados.

Un punto fuerte en el caso de México es la **Investigación y Desarrollo (I+D)**, representada por instituciones como la CONUEE, el INECC y el INEEL, que es fundamental para impulsar la innovación y los avances tecnológicos en diversas áreas, especialmente en eficiencia energética y sostenibilidad. Además, estas instituciones contribuyen al **desarrollo y la cualificación de la mano de obra** necesaria para la implementación y mantenimiento de nuevas tecnologías.

4.7.3. Brasil

En Brasil, existen **varios programas e iniciativas**, como el Programa Brasileño de Etiquetado (PBE), el Programa Nacional de Conservación de Energía Eléctrica (Procel), el Programa de Eficiencia Energética (PEE), el Plan Nacional de Eficiencia Energética (PNEF) y el Plan Nacional para la Eliminación de CFCs (PNC). Estos programas ofrecen un **enfoque multifacético**, ya que cada uno aborda aspectos específicos, como la etiquetación de productos, la implementación de tecnologías eficientes, la investigación y el desarrollo, y la concienciación del consumidor. Además, los programas se complementan entre sí, creando una red de acciones que se refuerzan mutuamente. Por ejemplo, el PBE informa al consumidor sobre la eficiencia de los productos, mientras que el Procel incentiva la adopción de tecnologías más eficientes.

Brasil, al igual que México, también cuenta con un **sólido marco regulatorio** para promover la eficiencia energética. Los marcos regulatorios en Brasil, como la NBR 15.575, la Instrucción Normativa N.º 2, la Política Nacional de Conservación y Uso Racional de la Energía y el Reglamento Técnico de Calidad para la Eficiencia Energética en Edificios, así como las etiquetas como la Etiqueta Nacional de Conservación de Energía (ENCE) y el Sello Procel, son herramientas poderosas para fomentar la eficiencia energética en la climatización y refrigeración. Estos instrumentos garantizan que los **consumidores tengan acceso a información clara y precisa** sobre los productos, además de incentivar la innovación tecnológica.

4.7.4. Dinamarca

Dinamarca es reconocida mundialmente por su excelencia en construcción sostenible y **arquitectura bioclimática**, reflejando su firme compromiso con prácticas ambientalmente responsables y eficientes en términos energéticos. Los Reglamentos de Construcción BR18 establecen requisitos integrales para la construcción, renovación y mantenimiento de edificios,

con un enfoque en minimizar el consumo de energía para calefacción, agua caliente, refrigeración, ventilación e iluminación. Además, especifican estándares para **garantizar un clima interno térmico cómodo**, esencial para el bienestar de los ocupantes.

Las normas técnicas incluidas en el BR18, como DS 418 (Cálculo de pérdida de calor de edificios) y DS/EN ISO 9972 (Determinación de la permeabilidad al aire de los edificios), son fundamentales para asegurar que los edificios sean diseñados y construidos con altos estándares de eficiencia energética y confort térmico.

Además de estas normas, la creación de **comités específicos** para cada aspecto de la arquitectura bioclimática, como el Comité de Aislamiento Térmico (S-181) y el Comité de Sistemas de Calefacción y Refrigeración en Edificios (S-316), es una práctica que merece ser seguida. La existencia de estos comités permite un **enfoque especializado** en las diversas estrategias de rendimiento térmico y eficiencia energética. Esto fomenta el desarrollo y la implementación de **normas más precisas y adaptadas** a las necesidades específicas de cada área, resultando en **soluciones más eficaces e innovadoras** para el confort térmico eficiente.

El Consejo de Construcción Verde de Dinamarca **fomenta el conocimiento** sobre la eficiencia energética en los sistemas HVAC. Sus actividades incluyen la **capacitación de consultores**, con el objetivo de optimizar el consumo de energía en estos sistemas y promover prácticas sostenibles.

4.7.5. Australia

Australia es una referencia en **incentivos para mejorar la eficiencia de los equipos** de climatización y refrigeración. Ejemplos notables incluyen el Programa de **Incentivos para la Actualización de Aires Acondicionados** del National Carbon Bank of Australia, en colaboración con el Esquema de Ahorro Energético del Gobierno de Nueva Gales del Sur (NSW), que proporciona incentivos a través de **Certificados de Ahorro Energético (ESCs)** generados con la instalación de nuevos sistemas de aire acondicionado eficientes.

Además, el Programa de Energex ofrece **incentivos para la instalación** de receptores de señal en acondicionadores de aire compatibles con **PeakSmart**, ayudando a los participantes a reducir los costos de energía y mejorar la eficiencia energética de sus propiedades.

La Ley de Normas Mínimas de Energía y Efecto Invernadero (GEMS) de 2012 establece requisitos mínimos de eficiencia energética y **limita las emisiones de gases de efecto invernadero** para varios productos, incluidos los sistemas HVAC. El Programa E3 complementa estas iniciativas, ofreciendo un enfoque para los estándares de eficiencia energética y etiquetado, especificando niveles mínimos de desempeño energético que los electrodomésticos deben cumplir antes de ser vendidos.

4.7.6. India

India es un ejemplo de colaboración entre el gobierno, la industria, la academia y la sociedad civil tanto a nivel nacional como internacional. El país es signatario de importantes acuerdos internacionales, como el Protocolo de Montreal, el Acuerdo de París, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y la Convención sobre la Diversidad

Biológica (CDB). También ha ratificado el Acuerdo de Kigali, que se enfoca en la reducción de refrigerantes con alto potencial de calentamiento global. Estos compromisos demuestran la dedicación de India a la cooperación internacional y la sostenibilidad.

Además de los acuerdos internacionales, India promueve iniciativas multisectoriales como el Portal de Conocimiento NZEB, creado en 2015 y mantenido por la USAID de 2017 a 2022. Actualmente, el portal cuenta con el apoyo de la Asociación de Energía Regional del Sur de Asia de la USAID (SAREP), que busca mejorar el acceso a energía sostenible en Bangladesh, Bután, India, Maldivas, Nepal y Sri Lanka. Este proyecto ejemplifica la colaboración entre agencias internacionales y países del sur de Asia.

En el ámbito de la eficiencia energética, India ha implementado el programa Perform, Achieve and Trade (PAT), que reduce el Consumo Específico de Energía (SEC) en industrias con alta demanda energética a través de un sistema de certificación que permite la negociación de ahorros de energía excedentes. Esto promueve la colaboración entre el gobierno y el sector privado.

El desarrollo de políticas también sigue un proceso inclusivo. La Cool Roofs Initiative de Telangana, por ejemplo, involucró pilotos, estudios de caso, consultas con partes interesadas, participación pública y modificación de normativas. Este proceso asegura políticas bien fundamentadas y respaldadas.

En el área de capacitación e investigación, India lanzó el Programa de Acción Integrada para la Refrigeración (ICAP), que promueve la investigación y la capacitación de técnicos en colaboración con la Misión Skill India. El ICAP integra gobierno, academia e industria, promoviendo el desarrollo conjunto.

4.8. Resumen visitas nacionales e internacionales realizadas

Finalmente, a modo resumen se presenta a continuación una tabla que describe los hallazgos más significativos en el marco de refrigeración y climatización identificados en las visitas realizadas. En los anexos del presente documento se podrá encontrar la información detallada de cada visita realizada. Además, es importante mencionar que la selección de visitas se llevó a cabo por medio de la construcción de una metodología focalizada en el desarrollo de una matriz multicriterio que permitió priorizar la selección por medio de diferentes criterios que abarcaron todos los ángulos más representativos para el listado de visitas final. La matriz multicriterio se encuentra en el anexo *“Matriz de Multicriterio - Casos Internacionales y nacionales”*.

Tabla 11. Matriz resumen visitas nacionales e internacionales

Visita	Lugar	Tipo de medida	Sector	Información más relevante de la visita
Aeropuerto el Dorado	Bogotá, Colombia	Activa/Pasiva	Climatización	Sistema de climatización modular, implementación de free cooling y arquitectura bioclimática.
Almacén Éxito	Bello, Colombia	Activa	Refrigeración	Sistema de climatización de flujo variable y sistema de refrigeración booster por CO2 transcrito
VIS El paraíso	Valparaíso, Colombia	Pasiva	Climatización	Proyecto VIS con construcción sostenible funcional que logra reducir el consumo energético
Distrito Térmico Serena del Mar	Cartagena, Colombia	Activa	Climatización	Sistema de climatización alternativo que reemplaza los sistemas tradicionales a través de un moderno modelo de negocio
Copeland	CDMX, México	Activa	Refrigeración/climatización	Identificación de alternativas para las buenas prácticas innovadoras y diseños que permiten mejoras sustanciales en

				los sistemas de refrigeración
Ecochillers	Guadalajara, México	Activa	Climatización	Construcción de chillers con recuperación de calor, tecnología VFD, refrigerantes de bajo GWP y componentes que aumentan la eficiencia de los sistemas
Frialsa	CDMX, México	Activa	Refrigeración	Utilización de chillers de propano con tecnología VFD e identificación de buenas prácticas que permiten reducir el consumo de energía
Planta de carbonización hidrotermal	CDMX, México	Activa	Refrigeración	Sistema adiabático para enfriamiento del proceso de manera eficiente
Paradise hotel	Puerto Vallarta, México	Activa	Climatización	Chiller en funcionamiento con recuperación de calor y tecnología inverter
Passive House	CDMX, México	Pasiva	Climatización	Vivienda certificada que, por medio de medidas pasivas, logra reducir hasta un 40% el consumo en climatización

Galería Laguna	Curitiba, Brasil	pasiva	Climatización	Construcciones bioclimáticas super eficientes con sistemas de gestión energética
Hospital Erastinho	Curitiba, Brasil	Activa/pasiva	Climatización	Sistemas de climatización digitalizados que varían la carga térmica en función de la ocupación y diseños sostenibles que reducen la carga térmica
Hospital Sarah	Brasilia, Brasil	Pasiva	Climatización	Diseño bioclimático súper eficiente que permite reducir drásticamente el consumo energético del lugar
Ministerio de Minas y energía Brasil	Brasilia, Brasil	Activa/pasiva	Climatización/refrigeración	Acercamiento para conocer los avances regulatorios de Brasil en materia de refrigeración y climatización
Petinelli	Curitiba, Brasil	Activa/pasiva	Climatización	verdadero laboratorio y showroom para nuevas tecnologías y conceptos aplicados a edificios sostenibles (<i>Green Buildings</i>)
RAC Engenharia	Curitiba, Brasil	Activa/pasiva	Climatización	Edificio sostenible con sistemas

				digitalizados y diseños bioclimáticos que permiten aumentar la eficiencia en el consumo energético
Sicredi	Maringá, Brasil	Activa/pasiva	Climatización	Edificio de lujo sostenible con sistema de climatización eficiente con rueda entálpica y diseños bioclimáticos que permiten la reducción en el consumo energético

5. Análisis Beneficio/Costo

La eficiencia energética es un recurso que permite reducir o evitar el gasto en otros energéticos a través de medidas activas, pasivas u operativas. Teniendo en cuenta lo anterior, la priorización de medidas debe incluir un análisis completo y comprensivo de los beneficios y costos de este recurso con relación a la línea base, así como frente a posibles alternativas. El ejercicio de priorización tiene dos componentes: el análisis costo-beneficio y el ranking de las medidas analizadas según su aporte a los objetivos de política pública. Con el análisis costo-beneficio se identifican cuáles de las medidas de eficiencia energética analizadas son costo efectivas, es decir, aquellas cuyos beneficios exceden los costos. Este análisis también permite identificar si las medidas requieren apoyos financieros para su desarrollo, puesto que son deseables desde el punto de vista colectivo, pero no lo son a nivel privado. Para más información sobre la metodología desarrollada para el análisis costo beneficio consultar en anexo *“Volumen IV Metodología para el análisis BC tridimensional en materia de climatización y ref”*.

El análisis de costo efectividad que se realizó basado en la herramienta desarrollada por la UPME en el documento PAI-PROURE 2022-2030 que con las medidas identificadas se caracteriza por los siguientes aspectos.²

Análisis incremental y simétrico: La evaluación incorpora los costos y beneficios desde la perspectiva privada y compara el desempeño de las medidas analizadas frente a la opción de utilizar otros recursos de la oferta.

Análisis colectivo: Además de incluir los costos y beneficios privados, este análisis incluye y cuantifica los impactos de la medida en función de la consecución de los pilares de la política energética, mencionados en la sección anterior.

Análisis prospectivo: Involucra el cálculo de los costos y los beneficios actuales y los que se presentan sobre la vida útil de la medida propuesta, en este análisis no se tienen en cuenta los costos históricos o las inversiones ya realizadas y se evalúan los resultados en términos del cambio incremental, respecto de un escenario en la que la medida no se realiza.

Análisis comprensivo y transparente: Incluye una estimación de los costos y beneficios relacionados con externalidades que son de difícil cuantificación, adicionalmente, se pone a disposición del público todos los supuestos e información utilizada para alcanzar los resultados presentados.

En términos generales, la evaluación costo efectividad contiene 3 niveles.

- **Beneficio costo privado (B/C privado):** En este primer análisis se incluyen los costos y beneficios directos que percibe el usuario final. En la gran mayoría de los casos analizados, los usuarios finales son quienes deben realizar las inversiones relacionadas con eficiencia energética.

- **Beneficio costo sistémico (B/C sistema):** En el segundo nivel, se incorporan los costos y beneficios sistémicos, es decir, los impactos potenciales que tiene la medida, para los diferentes agentes de la cadena de servicios energéticos²⁰.

- **Beneficio costo social (B/C social):** En el tercer nivel se incluyen los costos y beneficios relacionados con las externalidades y la consecución de los objetivos de política pública, es decir, los impactos de la medida en la sociedad. El segundo componente de la priorización consiste en definir un ranking de las medidas analizadas según su aporte a los objetivos de política pública de abastecimiento energético y de mitigación al cambio climático. Este ranking se construye calculando un indicador de aporte global. Este indicador corresponde a un promedio ponderado de la participación porcentual de cada medida analizada en la reducción de demanda y en las emisiones evitadas. Las medidas que tengan mayores aportes globales serán las que tengan los primeros puestos del ranking.

Con la información del ranking y los resultados de costo-beneficio se identifican cuáles de ellas no son socialmente beneficiosas, cuales requieren incentivos y cuales se pueden alcanzar sin ellos.

² Toda la información presentada en el índice 5 del presente documento respecto a la descripción del funcionamiento de la herramienta costo beneficio fue tomada de manera literal del documento PAI-PROURE 2022-2030 desarrollado por la UPME.

6. Contextualización de la propuesta de estrategia

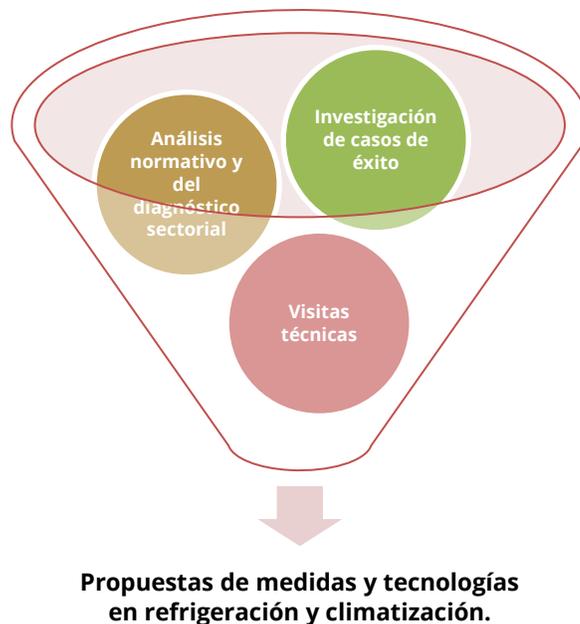
Para el **Plan Nacional de Innovación y Tecnología (PNIT) en Eficiencia Energética en Climatización y Refrigeración en Colombia**, es fundamental contar con un contexto general sobre las medidas y tecnologías propuestas, dado que proporciona una visión amplia y fundamentada de las opciones disponibles, y permite identificar aquellas más alineadas con las características bioclimáticas, económicas y normativas del país. Además, basar las decisiones en experiencias exitosas y en un análisis riguroso refuerza la efectividad de las estrategias e incrementa las posibilidades de éxito en su implementación.

6.1. Metodología de investigación, recopilación y selección

La definición de las medidas y tecnologías siguió una metodología estructurada, dividida en fases que garantizaron un proceso riguroso y adaptado a las necesidades de Colombia.

Esta metodología se basó en las directrices recomendadas por la **National Cooling Action Plan Methodology** [49], desarrollada por la **UNEP-led Cool Coalition**, en colaboración con la **Comisión Económica y Social para Asia y el Pacífico (UN ESCAP)**, la **Alianza para una Economía Energéticamente Eficiente (AEEE)** y basada en la experiencia del **NCAP Working Group** de la Cool Coalition y con el apoyo del **Kigali Cooling Efficiency Program (K-CEP)**. Este enfoque integra las mejores prácticas globales y herramientas estratégicas para garantizar la eficacia y aplicabilidad de las medidas y tecnologías propuestas.

El desarrollo del Plan Nacional de Innovación y Tecnología en Eficiencia Energética en Colombia se basó en tres fases: **investigación de casos de éxito**, donde se listan y clasifican soluciones relevantes según criterios técnicos, económicos, ambientales y estratégicos; **análisis normativo y del diagnóstico sectorial**, que identificó medidas existentes en el marco colombiano y oportunidades de incorporación de normativas internacionales, además de identificar las principales oportunidades de mejora de los sectores basadas en el diagnóstico realizado; y **visitas técnicas**, que aportaron aprendizajes prácticos sobre barreras, financiamiento y capacitación, esenciales para adaptar tecnologías al contexto nacional.



6.1.1. Fase 1: Investigación exhaustiva de casos de éxito

En esta primera etapa, se realizó una investigación amplia sobre casos de éxito en eficiencia energética en climatización y refrigeración, tanto en Colombia como en otros países. Los países se seleccionaron en función de su similitud bioclimática con Colombia, además de estudiar ejemplos de países desarrollados líderes en este tema. Tras recopilar un gran volumen de información, los casos se clasificaron según los siguientes criterios:

- **Técnicos:** nivel de madurez tecnológica y aplicabilidad en diferentes contextos.
- **Económicos:** costo-beneficio, viabilidad económica y potencial de inversión.
- **Innovación:** capacidad para introducir soluciones disruptivas y eficientes.
- **Ambientales:** impacto en la reducción de emisiones y el consumo energético.
- **Estratégicos:** relevancia para el contexto colombiano.
- **Integración en Colombia:** facilidad de adaptación a las condiciones locales.

6.1.2. Fase 2: Análisis del contexto normativo y del diagnóstico de los sectores

Otra etapa clave fue el análisis del marco regulatorio en Colombia, en otros países y del diagnóstico del sector en términos de consumo de energía y emisiones generadas. Este análisis

permitió identificar medidas y tecnologías ya previstas en el marco normativo colombiano, así como aquellas presentes en normativas internacionales que podrían ser adaptadas al país.

En el contexto colombiano destacan normativas como:

- **Resolución 1154 de 2016:** Regula el etiquetado y la calidad de productos como pinturas arquitectónicas, potencialmente vinculados a la eficiencia energética.
- **Ley 142 de 1994:** Incluye directrices para la eficiencia energética en los servicios públicos.
- **Ley 1753 de 2015:** Promueve tecnologías sostenibles en el contexto de la ciencia, la tecnología y la innovación.
- **Decreto 1077 de 2015:** Establece requisitos de eficiencia energética en edificaciones.
- **Plan de Acción Indicativo (PAI) del Programa PROURE 2022-2030:** Orienta la implementación de medidas activas y pasivas para la eficiencia energética en diversos sectores.

Este análisis también reveló vacíos y oportunidades para incluir nuevas tecnologías en el marco normativo colombiano, fortaleciendo la coherencia entre las políticas públicas y la innovación tecnológica.

Además, fue fundamental de igual modo, partir del diagnóstico realizado a lo largo del proyecto desarrollado en el *“Volumen III, Diagnóstico Nacional de refrigeración y climatización en Colombia”*, donde se identificaron los diferentes consumos de energía eléctrica, emisiones generadas, cantidad de refrigerante consumido y número de equipos por sector económico, con el fin de determinar las medidas más eficientes que pudieran reemplazar la función de los equipos actuales teniendo en cuenta el contexto colombiano tanto económico, ambiental como normativo en el marco de la refrigeración y climatización.

6.1.3. Fase 3: Visitas técnicas

Para profundizar el entendimiento práctico, se llevaron a cabo visitas técnicas a países que demuestran avances significativos en la implementación de tecnologías y medidas en climatización y refrigeración. Estas visitas proporcionaron:

- Información detallada sobre barreras técnicas enfrentadas y soluciones implementadas.
- Conocimiento sobre los mecanismos de financiación utilizados para viabilizar estas estrategias.
- Experiencias relacionadas con la capacitación profesional, un elemento clave para garantizar la sostenibilidad de las medidas.

Los conocimientos adquiridos, muchas veces no disponibles en la literatura, fueron fundamentales para adaptar las lecciones aprendidas al contexto colombiano.

6.2. Informaciones generales sobre los grupos de medidas y tecnologías.

Los grupos de medidas y tecnologías en climatización y refrigeración pueden analizarse según su principio de funcionamiento. Esto incluye **sistemas sin refrigerantes**, como la refrigeración evaporativa o el enfriamiento natural, que eliminan el impacto ambiental de sustancias químicas.

Por otro lado, los sistemas que **utilizan refrigerantes** continúan evolucionando hacia opciones más eficientes y ecológicas.

Además, los **sistemas de control y operación** optimizan el rendimiento energético mediante tecnologías inteligentes, como sensores y algoritmos.

Las **estrategias constructivas**, como aislamiento y diseño eficiente, contribuyen al confort térmico y a la reducción de la demanda energética de los sistemas de climatización.

Finalmente, los **distritos térmicos** (District Heating and Cooling, DHC) son sistemas centralizados que generan y distribuyen energía térmica a través de redes de agua, proporcionando calefacción o refrigeración a edificaciones. Pueden ser intramuros, atendiendo a un solo edificio, o extramuros, abasteciendo a múltiples edificaciones mediante estaciones de intercambio térmico.

Sistemas de climatización y refrigeración sin refrigerantes

- Ejemplo: Refrigeración evaporativa, enfriamiento natural.

Sistemas de climatización y refrigeración que utilizan refrigerantes

- Ejemplo: Sistemas con refrigerantes más eficientes y ecológicos.

Sistemas de control y operación

- Ejemplo: Tecnologías inteligentes, sensores, algoritmos de optimización del rendimiento energético.

Estrategias constructivas

- Ejemplo: Aislamiento, diseño eficiente para confort térmico y reducción de la demanda energética.

Distritos Térmicos

- Ejemplo: distritos intramuros y distritos extramuros.

La relación completa de todas las medidas y tecnologías analizadas se encuentra detallada en el Anexo “*Categorización tecnología climatización y refrigeración*”, donde se incluyen tanto las soluciones que no utilizan refrigerantes como aquellas que emplean tecnologías más tradicionales.

6.2.1. Sistemas de climatización y refrigeración sin refrigerantes

Entre las principales medidas levantadas en el ámbito de la refrigeración y climatización que no utilizan refrigerantes se destacan los recuperadores de calor, sistemas de enfriamiento evaporativo (tanto directo como indirecto), enfriamiento adiabático y diversos sistemas de ventilación.

Los recuperadores de calor son sistemas diseñados para capturar y reutilizar el calor residual de procesos industriales, sistemas HVAC o cocinas industriales. Este calor recuperado puede ser aprovechado para calefacción, calentamiento de agua u otros usos, optimizando la eficiencia energética. Al reducir la dependencia de fuentes externas de energía, los recuperadores de calor no solo disminuyen los costos operativos, sino también las emisiones de gases de efecto invernadero, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y eficiencia energética establecidos en políticas como la Ley 1715 de 2014 en Colombia.

El **enfriamiento evaporativo** es una solución bioclimática basada en la evaporación del agua para reducir la temperatura del aire:

- **Directo:** Humidifica el aire mientras lo enfría, siendo ideal para climas secos donde la baja humedad favorece la eficiencia del sistema.
- **Indirecto:** Enfría el aire sin añadir humedad, mediante el uso de intercambiadores de calor. Es una opción adecuada para espacios que requieren control estricto de la humedad.

El **enfriamiento adiabático** utiliza agua para enfriar el aire de manera eficiente, sin contacto directo con las serpentinas, lo que reduce riesgos de corrosión y prolonga la vida útil del equipo. Este sistema opera ajustándose a las condiciones ambientales, reduciendo el uso de agua y energía en comparación con métodos tradicionales. Además, su flexibilidad y diseño automatizado lo convierten en una opción sostenible y de alto rendimiento para climas moderados y secos.

Los **sistemas de ventilación** mejoran la calidad del aire y la climatización sin el uso de refrigerantes, adaptándose a diferentes necesidades:

- **Ventilación centralizada:** Garantiza una renovación continua del aire en todo el edificio.

- **Aire exterior dedicado (DOAS):** Introduce aire fresco tratado, reduciendo la carga térmica y mejorando la calidad del aire interior.
- **Ventilación personalizada:** Suministra aire limpio directamente a la zona de respiración de los ocupantes, mejorando el confort térmico y reduciendo el consumo energético.
- **Ventilación por desplazamiento:** Utiliza fuerzas de flotabilidad para distribuir aire fresco de manera eficiente, ideal para espacios amplios con alta ocupación.

6.2.2. Refrigeración y climatización que utilizan refrigerantes

Las estrategias de refrigeración y climatización que utilizan refrigerantes desempeñan un papel fundamental en el control de la temperatura y la humedad en diversos ambientes, como viviendas, edificios comerciales, industrias y sistemas de transporte.

Una de las primeras iniciativas a considerar es el uso de **equipos con etiqueta energética A y B (RETIQ)**, establecido por el Reglamento Técnico de Etiquetado (RETIQ) en Colombia. Los equipos que cumplen con las etiquetas A y B son más eficaces en el consumo de energía, lo que se traduce en menores costos operativos y un menor impacto ambiental.

Otra medida efectiva es la **integración de energía solar con almacenamiento de frío**, una solución innovadora que optimiza los costos de refrigeración. El almacenamiento térmico de enfriamiento utiliza la energía solar para mantener el funcionamiento del sistema durante el día, mientras que el hielo se genera por la noche, cuando la tarifa de energía o la carga del sistema puede ser más baja. Este hielo se utiliza luego durante el día para refrigerar y climatizar, lo que reduce los picos de demanda de energía.

El uso de **equipos con componentes de alta eficiencia, como compresores y condensadores avanzados**, también es estratégico. Los compresores de alto rendimiento y los condensadores más eficientes permiten una mejor transferencia de calor y una operación más eficaz, lo que resulta en un menor consumo energético y una mayor vida útil de los equipos.

Otra estrategia importante es la **adopción de refrigerantes con menor GWP** (Potencial de Calentamiento Global), como los gases con un GWP inferior a 1400, por ejemplo, el CO₂, el propano y el amoníaco. Esta transición, permite la sustitución de los refrigerantes tradicionales sin la necesidad de modificaciones significativas en los sistemas existentes.

6.2.3. Control y operación

Las tecnologías y medidas enfocadas en el control y la operación de los sistemas de refrigeración y climatización juegan un papel en la optimización del consumo de energía, la mejora de la eficiencia y el aumento de la vida útil de los equipos.

Entre las principales soluciones destacan los **compresores con variador de frecuencia (VFD)**, que ajustan automáticamente la capacidad de operación del compresor según la demanda real del sistema. Esto elimina el desperdicio de energía, previene el sobredimensionamiento y reduce el desgaste mecánico, lo que resulta en un ahorro significativo de energía. En sistemas de refrigeración, los compresores con VFD pueden operar con hasta un 65% de carga parcial, garantizando que la operación sea más eficiente y reduciendo los costos operativos a lo largo del tiempo.

Otro avance importante es la **digitalización y el control de sistemas**, que sustituye los antiguos controles on/off por sistemas automatizados con controladores PID. Estos sistemas monitorean en tiempo real las condiciones del sistema de refrigeración, ajustando la cantidad de fluido refrigerante y la rotación del compresor. La automatización también reduce los costos de mantenimiento, ya que evita picos de consumo y desgastes en los componentes, aumentando su durabilidad.

El **control de fugas** de refrigerante es una medida para garantizar la eficiencia energética y la seguridad operativa de los sistemas. Detectores de fugas permiten identificar rápidamente fallas, evitando sobrecargas en los compresores y reduciendo el riesgo de fugas peligrosas.

Para optimizar el rendimiento del sistema, el **ajuste y control de la válvula de expansión** son fundamentales. Esta válvula regula el flujo de refrigerante, permitiendo un control preciso del sobrecalentamiento (*superheat*). Un ajuste inadecuado puede perjudicar la eficiencia del sistema, resultando en un consumo excesivo de energía y reducción de la capacidad de refrigeración. Mantener el *superheat* dentro de los parámetros ideales asegura que el refrigerante se vaporice completamente, evitando daños al compresor y garantizando eficiencia.

Tecnologías como la **válvula de expansión electrónica** también desempeñan un control más preciso de la temperatura y presión. La válvula electrónica reduce las fluctuaciones y mejora el desempeño del sistema, resultando en un aumento de la eficiencia energética de hasta un 12%.

Por último, el uso de **ventiladores y condensadores con variador de frecuencia** también tiene un impacto significativo en la eficiencia de los sistemas de refrigeración y climatización. Estos componentes ajustan su velocidad según la demanda de refrigeración, lo que permite una reducción del consumo energético de hasta un 50% y disminuye el desgaste mecánico. El control dinámico de la presión de succión de los condensadores también mejora la conservación de los productos refrigerados y reduce los costos operativos.

6.2.4. Estrategias constructivas

Las estrategias constructivas enfocadas en el aislamiento y el diseño eficiente son fundamentales para mejorar el confort térmico de los edificios y reducir la demanda energética de los sistemas de climatización. Estas medidas, al ser implementadas adecuadamente, contribuyen de manera significativa a la eficiencia energética, disminuyendo la necesidad de calefacción o refrigeración artificial.

Una de las soluciones más efectivas es la instalación de **puertas para gabinetes de refrigeración**. Este tipo de intervención, de bajo costo y alta efectividad, mejora el aislamiento térmico de los sistemas de refrigeración, minimizando el intercambio de calor entre el interior y el exterior de los gabinetes. En sectores como el comercial o el de alimentos, esta medida optimiza el desempeño de los equipos, prolongando su vida útil y reduciendo el consumo energético.

El **aislamiento térmico en tuberías** es otra medida clave en sistemas de refrigeración. El aislamiento de las tuberías de refrigerante no solo mejora la eficiencia energética, sino que también ayuda a controlar la humedad, evitando problemas como la condensación, la corrosión o la formación de hielo. Al aplicar materiales de alta calidad, como el elastómero flexible o el vidrio celular, se reduce la transmisión de calor y se previenen fallos operativos, garantizando el rendimiento óptimo del sistema a lo largo del tiempo.

El **aislamiento en muros y techos** es otro componente esencial en la construcción eficiente. Mediante la utilización de materiales como la espuma de poliuretano, la fibra de vidrio, o la lana de roca, se logra una barrera térmica que reduce las pérdidas de calor en invierno y las ganancias de calor en verano. Este tipo de aislamiento mejora la eficiencia energética del edificio, lo que previene problemas de humedad, asegurando un ambiente interior saludable.

Por su parte, los **vidrios de baja emisividad (Low-E)** y el **vidrio doble** juegan un papel en el control térmico de los edificios. Los vidrios Low-E, con su recubrimiento especial, reflejan la radiación térmica, lo que minimiza la pérdida de calor en invierno y limita la ganancia de calor en verano. El vidrio doble, con su capa de gas inerte entre las láminas de vidrio, reduce la transferencia térmica, contribuyendo a mantener temperaturas interiores estables y reduciendo la necesidad de climatización activa.

El uso de **materiales térmicos** y el **diseño con masa térmica** también son estrategias esenciales para la eficiencia energética. Materiales como el concreto y la cerámica tienen la capacidad de absorber y almacenar calor, liberándolo gradualmente durante la noche. Este proceso ayuda a regular la temperatura interior sin depender de sistemas mecánicos, lo que resulta en un ahorro energético significativo. El diseño con masa térmica, que incluye la correcta orientación de los elementos constructivos y el equilibrio entre superficies de vidrio y masa térmica, para evitar el sobrecalentamiento en climas cálidos y asegurar un calentamiento eficiente en climas fríos.

Finalmente, la **protección solar y las sombras estratégicas** son técnicas de diseño pasivo que permiten controlar la ganancia térmica del edificio. Dispositivos como aleros, toldos y *brise-*

soleils, diseñados de acuerdo con la carta solar del lugar, permiten bloquear la radiación solar en momentos no deseados y aprovecharla cuando es beneficiosa.

6.2.5. Distritos Térmicos

Los **distritos térmicos** (District Heating and Cooling, DHC) son sistemas centralizados de generación y distribución de energía térmica, diseñados como alternativas a los sistemas convencionales de climatización. Su funcionamiento se basa en la generación de energía térmica mediante tecnologías como calderas y chillers, y la distribución de esta energía a través de redes de agua, atendiendo edificaciones del sector residencial y terciario. Hay dos clasificaciones de los distritos térmicos: distritos intramurales y distritos extramurales.

En Colombia, los distritos térmicos están regulados por la **Resolución 40773 de 2023** emitida por el Ministerio de Minas y Energía, el cual establece el nuevo Reglamento técnico de Instalaciones Térmicas (RETSIT). Este reglamento define los requisitos que deben cumplir las instalaciones térmicas de acondicionamiento de aire, refrigeración y producción y distribución de energía térmica a través de distritos térmicos, que entreguen agua como fluido portador de frío o calor con fines de climatización (Ministerio de Minas y Energía, 2023).

El RETSIT es de obligatorio cumplimiento para todas las personas naturales o jurídicas que diseñen, construyan, operen, mantengan o desmantelen instalaciones térmicas en Colombia, y establece procedimientos para la certificación y evaluación de la conformidad de dichas instalaciones.

Esta estrategia ofrece beneficios como la eficiencia energética al centralizar la producción de energía térmica; la reducción de emisiones de GEI y sustancias agotadoras de la capa de ozono; ahorro económico, a partir de la reducción de costos de inversión y operación; y planeación urbana sostenible, por medio de la facilitación del desarrollo de ciudades más sostenibles y eficientes.

En Colombia se han desarrollado proyectos piloto de distritos térmicos como La Alpujarra en Medellín, el cual está operando desde 2016, y suministra agua fría para sistemas de aire acondicionado en varias edificaciones gubernamentales. Este proyecto ha logrado evitar la emisión de 1.200 TonCO₂ y ha eliminado el uso de sustancias que agotan la capa de ozono (Distritos térmicos Colombia, 2024).

Además, según se afirma en la página oficial de los Distritos Térmicos de Colombia (2024), para promover la implementación de distritos térmicos en el país, se han elaborado diversas publicaciones y guías metodológicas que ofrecen herramientas y estudios técnicos para su desarrollo. Estas incluyen estudios financieros para ciudades como Bogotá, Cartagena, Medellín, Cali, Bucaramanga, Montería y Villavicencio, disponibles en la sección de publicaciones del sitio web de Distrito Energético.

6.3. Especificaciones de las Medidas y Tecnologías

6.3.1. Contenido de las tablas

Este texto es una aclaración del contenido incluido en las tablas, para facilitar la comprensión de lo que se propone en ellas.

Filas de las tablas: y su respectivo contenido.

Acción: Agrupa las medidas a implementar para alcanzar los objetivos propuestos. Estas acciones se dividen en:

- **Medidas activas:** Requieren intervención o activación para funcionar, incluyendo componentes mecánicos, eléctricos o electrónicos que reaccionan o se ajustan en tiempo real. Ejemplo: cualquier medida que consume energía.
- **Medidas pasivas:** Funcionan de manera continua sin necesidad de intervención o activación, ofreciendo beneficios constantes. Ejemplo: cualquier medida que no consume energía.
- **Medidas operativas:** Incluyen acciones relacionadas con el uso, operación y mantenimiento de los equipos de uso final. Estas acciones han demostrado ser efectivas para reducir el consumo de energía, basándose en la experiencia de usuarios y expertos.

Categorización: Esta clasificación se discrimina a la función de:

- **Buenas prácticas:** Hace referencia al conjunto de acciones asociadas a la forma en cómo se usan, operan y mantienen los equipos de uso final, que han sido identificadas como efectivas y eficaces para reducir el consumo de energía, gracias a la información derivada de la experiencia conjunta de muchos usuarios y expertos especializados.
- **Cambio tecnológico:** Considera la incorporación de equipos y maquinaria, que se caracterizan por tener mejores eficiencias en el uso de energía que las tecnologías que se usan actualmente. Aquí se contemplan medidas desde la compra de equipos complementarios para la optimización del uso de energía, como la sustitución de aquellos en los que efectivamente se usa la energía.
- **Digitalización:** Hace referencia al uso de métodos y dispositivos digitales para optimizar el consumo final de energía.

- **Aprovechamiento de energía:** Corresponde a las técnicas o métodos que sirven para reducir al mínimo la pérdida de energía de un sistema.³

Uso: Describe cómo se aplica la tecnología o estrategia, destacando su función específica dentro de sistemas como climatización o refrigeración.

Sectores de aplicación: Identifica los sectores donde estas medidas son relevantes y pueden ser implementadas, tales como residencial, terciario o industrial.

"**Cambio tecnológico**" y "**Digitalización**" hacen referencia a medidas activas, y se refiere a medidas que requieren de intervención o activación para funcionar. Usualmente, incluyen componentes mecánicos, eléctricos o electrónicos para reaccionar o ajustarse a las condiciones en tiempo real.

6.4. Contextualización

6.4.1. Recuperadores de calor

Resumen técnico	
Acción	Estrategia Activa
Categorización	Cambio tecnológico
Uso	Refrigeración y Climatización
Sectores de aplicación	Procesamiento; Empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes; Cadena frío en salud; Terciario e Industrial.

Los recuperadores de calor son sistemas diseñados para capturar y reutilizar el calor residual generado por procesos diversos, como los sistemas HVAC, operaciones industriales o extractores de cocina, con el objetivo de mejorar la eficiencia energética en edificios y aplicaciones industriales. Estos sistemas recuperan el calor que, de no ser aprovechado, sería desperdiciado, dirigiéndose para el calentamiento de ambientes, calefacción de agua u otras aplicaciones, reduciendo la demanda de fuentes externas de energía.

Al optimizar el uso del calor residual, los recuperadores de calor incrementan la eficiencia general de los sistemas, lo que significa que se requiere menos energía para alcanzar el mismo nivel de calefacción o refrigeración, resultando en menores costos operativos y un impacto ambiental reducido. Además, la implementación de estos sistemas puede generar ahorros a largo plazo, ya que disminuye la dependencia de fuentes adicionales de energía, convirtiéndolos en una opción financieramente atractiva.

³ Tomado textualmente de PAI-PROURE 2022-2030

Adicionalmente, la integración de los recuperadores de calor con sistemas existentes, como los HVAC o los sistemas industriales, generalmente es sencilla y no requiere modificaciones. Esta facilidad de integración promueve una transición más fluida hacia prácticas más eficientes en términos de consumo energético, favoreciendo la adopción de soluciones más sostenibles.

La estrategia ha sido **identificada por la consultoría** y en el contexto colombiano, el uso de recuperadores de calor ha cobrado relevancia como una solución eficaz para la reducción de costos operativos y la promoción de la sostenibilidad.

6.4.2. Sistemas VRF o VRV

Resumen técnico	
Acción	Estrategia Activa
Categorización	Cambio tecnológico
Uso	Climatización
Sectores de aplicación	Terciario, Industrial

Los sistemas VRV (Volumen de Refrigerante Variable) o VRF (Flujo de Refrigerante Variable) son tecnologías avanzadas de climatización que permiten controlar individualmente la temperatura de múltiples espacios utilizando un único sistema centralizado. Funcionan mediante la circulación de refrigerante como medio principal para transferir calor o frío, ajustando automáticamente el flujo en función de la carga térmica de cada zona.

Estos sistemas son ideales para edificios de uso mixto, hoteles, oficinas, hospitales y residencias con múltiples zonas térmicas. Según estudios, los sistemas VRF pueden mejorar la eficiencia energética en hasta un 30% [49] en comparación con sistemas convencionales, reduciendo los costos operativos a largo plazo.

Entre las principales ventajas de los sistemas VRV/VRF se encuentra su control zonificado, que permite regular la temperatura de cada área de forma independiente, adaptándose a las necesidades específicas de los usuarios. Además, destacan por su alta eficiencia energética, gracias a compresores de velocidad variable que ajustan su operación en función de la demanda térmica. Estos sistemas también ofrecen gran flexibilidad en su diseño, al permitir la conexión de diversas unidades interiores, como cassette, pared o conductos, lo que facilita su integración en diferentes configuraciones arquitectónicas. Otra ventaja significativa es su modularidad, que posibilita la ampliación o reducción del sistema según las necesidades del usuario. Finalmente, son compatibles con sistemas inteligentes, lo que permite su integración con sensores y software para optimizar el funcionamiento y mejorar el rendimiento energético [49] [50].

Entre las desventajas de los sistemas VRV/VRF se encuentra su costo inicial elevado, ya que, aunque los costos operativos son más bajos a largo plazo, la inversión inicial puede ser significativa. Además, presentan una dependencia de refrigerantes, lo que puede limitar su uso en regiones con regulaciones estrictas o donde se prefieran tecnologías libres de gases refrigerantes. Otro aspecto por considerar es la necesidad de mantenimiento especializado, ya que estos sistemas requieren técnicos capacitados para su instalación y mantenimiento, lo que puede incrementar los costos operativos. Por último, su eficacia puede verse reducida en climas extremos, donde las temperaturas muy altas o bajas afectan su rendimiento [49] [50].

En proyectos evaluados, los sistemas VRF han demostrado ser una solución óptima para edificaciones con necesidades térmicas variables, logrando un balance favorable entre eficiencia y confort. Sin embargo, es fundamental considerar el costo inicial y realizar un análisis exhaustivo de las condiciones climáticas y normativas locales antes de su implementación.

6.4.3. Uso de equipos con etiqueta energética A y B - RETIQ - Refrigeración y Acondicionamiento de aire

Resumen técnico	
Acción	Estrategia Activa
Categorización	Cambio tecnológico
Uso	Climatización y Refrigeración
Sectores de aplicación	Residencial; Terciario; Producción; Cadena de frío en alimentos; Cadena de frío en salud.

Esta estrategia propone el uso de equipos (de refrigeración y acondicionamiento de aire) con etiquetas de eficiencia energética nivel A y B, instituidas por el Reglamento Técnico de Etiquetado (RETIQ) de Colombia. Este reglamento establece el reporte y uso obligatorio “etiquetas que informen sobre el desempeño de los equipos en términos de consumo energético e indicadores de eficiencia”. Sus objetivos son:

- Impulsar el uso de tecnología eficiente en el país.
- Orientar la preferencia de los usuarios hacia equipos de mejor desempeño energético.
- Incrementar en el mercado la oferta y la demanda de equipos eficientes en uso final de energía [6].

El RETIQ es una iniciativa del Ministerio de Minas y Energía y está presente en el Plan de Acción Indicativo del PROURE.

Refrigeración

Los equipos de refrigeración incluidos en el RETIQ son:

- Refrigeradores y refrigeradores-congeladores de uso doméstico de hasta 1.104 litros, con motocompresor.
- Congeladores de uso doméstico de hasta 850 litros, con motocompresor.
- Refrigeradores, congeladores y refrigeradores-congeladores (enfriadores), de uso en actividades comerciales, de tipo
 - Verticales con capacidad de 50 litros o más.
 - Equipos horizontales con capacidad de 110 litros o más.
 - Vitrinas con capacidad de 200 litros

El Consumo de Energía (kWh/mes) y el Ahorro Relativo (Ar) (%), son los parámetros para evaluar y declarar en la etiqueta Uso Racional y Eficiente de la Energía - URE por parte de los productores para los refrigeradores, refrigeradores-congeladores y congeladores de uso doméstico. Para los equipos comerciales, se establece el Consumo de Energía, así como el índice de consumo específico por litro (vatios-hora por litro, Wh/l).

Para los diferentes tipos de equipos de refrigeración, la tabla presenta los rangos de la razón de eficiencia energética.

Figura 1. Tabla de rangos de eficiencia energética para refrigeradores y congeladores

Rango de eficiencia energética	Ahorro Relativo Ar (%)	Ahorro Relativo Ar (%)	Ahorro Relativo Ar (%)
Vigencia	Hasta 31 de agosto de 2021	Desde septiembre 1 de 2021	Desde septiembre 1 de 2023
A	Ar ≥ 56	Ar ≥ 67	Ar ≥ 67
B	56 > Ar ≥ 45	67 > Ar ≥ 56	67 > Ar ≥ 56
C	45 > Ar ≥ 35	56 > Ar ≥ 42	56 > Ar ≥ 42
D	35 > Ar ≥ 25	42 > Ar ≥ 25	ELIMINADO
E	25 > Ar ≥ 15	ELIMINADO	ELIMINADO
F	15 > Ar ≥ 5	ELIMINADO	ELIMINADO
G	5 > Ar ≥ -20	ELIMINADO	ELIMINADO
Temperatura de ensayo	Según clase climática 25°C o 32°C	32°C para todas las clases climáticas	32°C para todas las clases climáticas

Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2023

Figura 2. Ejemplo de Etiqueta RETIQ Refrigerador - Congelador



Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2023.

Acondicionamiento de aire

Los equipos de acondicionamiento de aire incluidos en el RETIQ son:

- Acondicionadores de aire portátiles con capacidad de enfriamiento superior a 1.000 W
- Acondicionadores de aire de instalación fija con capacidad de enfriamiento inferior igual a 17.580 W
- Acondicionadores de aire del tipo precisión con capacidad de enfriamiento inferior igual a 17.580 W

Se establece el Consumo de Energía (kWh/mes) y la razón de eficiencia energética (E.E.R) como parámetros a evaluar y declarar en la etiqueta.

Para los diferentes tipos de acondicionamiento, las tablas presentan los rangos de la razón de eficiencia energética y también del coeficiente de desempeño.

Figura 3. Tablas de rangos de eficiencia energética para acondicionadores de aire

RANGOS DE LA RAZÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA (WT/WE)				
Vigencia	Hasta 31 de diciembre de 2021		Desde 1 de enero de 2022	
RANGO	Límite inferior (incluido)	Límite superior	Límite inferior (incluido)	Límite superior
A	3,75	E.E.C*.	4,00	E.E.C*
B	3,50	3,75	3,75	4,00
C	3,25	3,50	3,50	3,75
D	3,00	3,25	3,25	3,50
E	2,75	3,00	3,00	3,25

*Eficiencia Energética de Carnot $E.E.C=(273,15+T_e)(T_c-T_e)$;
 Donde T_e : Temperatura de evaporador en °C y T_c : Temperatura de condensador en °C.

RANGOS DE LA RAZÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA (WT/WE)				
Vigencia	Hasta 31 de diciembre de 2021		Desde 1 de enero de 2022	
RANGO	Límite inferior (incluido)	Límite superior	Límite inferior (incluido)	Límite superior
A	3,75	E.E.C*.	4,00	E.E.C*
B	3,50	3,75	3,75	4,00
C	3,25	3,50	3,50	3,75
D	3,00	3,25	3,25	3,50
E	2,75	3,00	3,00	3,25

*Eficiencia Energética de Carnot $E.E.C=(273,15+T_e)(T_c-T_e)$;
 Donde T_e : Temperatura de evaporador en °C y T_c : Temperatura de condensador en °C.

Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2023.

Figura 4. Ejemplo de Etiqueta RETIQ para Acondicionador de Aire



Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2023.

6.4.4. Puerta para gabinetes

Resumen técnico	
Acción	Estrategia Activa
Categorización	Cambio tecnológico
Uso	Refrigeración
Sectores de aplicación	Terciario; Empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes; Cadena de frío en alimentos.

La instalación de puertas en gabinetes de sistemas de refrigeración representa una intervención tecnológica de bajo costo y alta efectividad en la mejora de la eficiencia energética, en los sectores residencial y comercial. Estas puertas funcionan como barreras térmicas, minimizando el intercambio de calor entre el interior del gabinete y su entorno [11]. Como resultado, se reduce la carga térmica de los sistemas de refrigeración, optimizando su desempeño y disminuyendo el consumo energético.

Identificada en el "Plan de Acción Indicativo (PAI) Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PROURE) 2022-2030", esta estrategia se alinea con los objetivos nacionales de sostenibilidad y eficiencia energética. Además, promueve la adopción de prácticas tecnológicas avanzadas que reducen significativamente el consumo energético, consolidando su relevancia en la transición hacia un uso más racional y eficiente de los recursos energéticos en Colombia.

6.4.5. Solar + almacenamiento frío

Resumen técnico	
Acción	Estrategia Activa
Categorización	Cambio tecnológico
Uso	Climatización y Refrigeración
Sectores de aplicación	Cadena de frío en alimentos; Producción; Residencial, Terciario.

La tecnología de almacenamiento térmico de enfriamiento es una solución confiable y rentable para gestionar los costos de electricidad, al tiempo que contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Esta tecnología permite que las instalaciones aprovechen la electricidad más económica disponible durante la noche y la "almacenen" funcionalmente para su uso posterior [17]. El almacenamiento se realiza utilizando hielo como medio para conservar y liberar energía térmica.

Figura 5. Tanque de almacenamiento de hielo



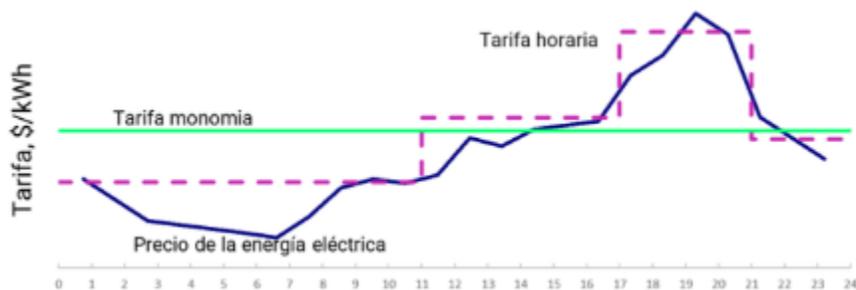
Fuente: Trane, 2021.

La integración de sistemas de energía solar con almacenamiento térmico de enfriamiento es una estrategia efectiva para mejorar la sostenibilidad y eficiencia energética. La energía solar captada durante el día puede ser utilizada para alimentar los sistemas de almacenamiento térmico, permitiendo la producción de hielo de manera eficiente para su aprovechamiento posterior.

El almacenamiento de frío integrado con energía solar es una solución eficaz para optimizar los costos de electricidad en Colombia, especialmente considerando el sistema de tarifas horarias, que varía a lo largo del día. Estas tarifas fomentan el desplazamiento del consumo hacia períodos de precios bajos y reducen el uso durante las horas pico, cuando los costos son más altos.

En el ejemplo de la **Figura 6**, el sistema tarifario divide el día en tres períodos: bajo (00:00 a 10:59), intermedio (11:00 a 16:59 y 21:00 a 23:59) y alto (17:00 a 20:59). El almacenamiento de frío permite que los consumidores con grandes necesidades de refrigeración utilicen la energía solar generada durante el día para producir hielo, que se almacenará y usará durante las horas de tarifa alta, reduciendo los costos de refrigeración y la dependencia de la red eléctrica.

Figura 6. Diferencia entre tarifa monómia promedio y tarifa horaria diferenciada



Fuente: The Carbon Trust, 2022.

6.4.6. Compresor con variador

Resumen técnico	
Acción	Estrategia Activa
Categorización	Cambio tecnológico
Uso	Climatización y Refrigeración

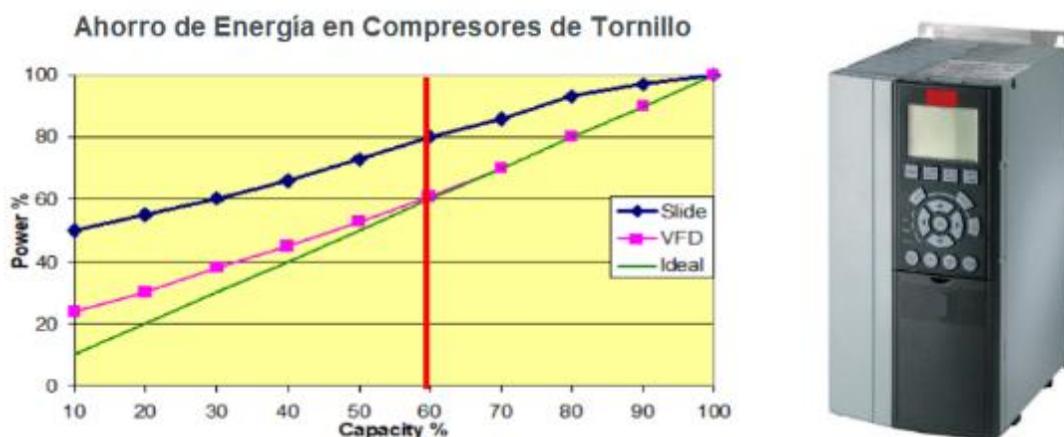
Sectores de aplicación	Cadena de frío en alimentos; Producción; Procesamiento; Empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes; Terciario; Cadena de frío en salud; Residencial, Industrial.
-------------------------------	---

Los compresores con variadores de frecuencia (VFD) ofrecen una solución innovadora y eficiente para sistemas de refrigeración, ajustando automáticamente la capacidad del compresor a las demandas reales de la instalación. En comparación con los sistemas convencionales que operan con controles de encendido/apagado o válvulas mecánicas, los compresores con VFD reducen el impacto de problemas como el sobredimensionamiento, el desperdicio de energía y el desgaste mecánico excesivo.

Uno de los principales beneficios de esta tecnología es la significativa reducción en el consumo de energía. En los sistemas de refrigeración, más del 65 % del tiempo de operación ocurre en condiciones de carga parcial [19]. En este escenario, los compresores con VFD ajustan su frecuencia y velocidad para operar de manera óptima, satisfaciendo la demanda consumiendo la energía necesaria. Además, la capacidad variable contribuye a reducir considerablemente los costos operativos a lo largo del tiempo.

En la **Figura 7** se presenta un ejemplo que compara el desempeño de un sistema de compresor de tornillo sin variador de frecuencia (línea azul), con variador de frecuencia (línea rosa) y el modelo ideal (línea verde). Se puede observar que, para la misma capacidad, el consumo de potencia varía significativamente, lo que evidencia un importante ahorro de energía al utilizar variadores de frecuencia.

Figura 7. Gráfico de potencia en función de la capacidad de un compresor de tornillo con y sin variador de frecuencia (VRF).



Fuente: InProcess Automatización Industrial, s.f.

Otro beneficio importante es el mantenimiento de una presión constante en la línea de succión, lo que mejora la calidad de la refrigeración y asegura una mayor conservación de los

alimentos al mantener un nivel óptimo de humedad. La tecnología también estabiliza el circuito de refrigeración, incrementando la eficiencia de las válvulas de expansión electrónicas y proporcionando un mejor control del nivel de líquido en el sistema.

El uso de variadores de frecuencia reduce el desgaste mecánico, eliminando picos de corriente durante el arranque y disminuyendo el número de ciclos de encendido y apagado. Esto se traduce en menores costos de mantenimiento y una mayor vida útil de los componentes. Además, operar a velocidades medias reduce significativamente los niveles de ruido, creando un ambiente de trabajo más cómodo.

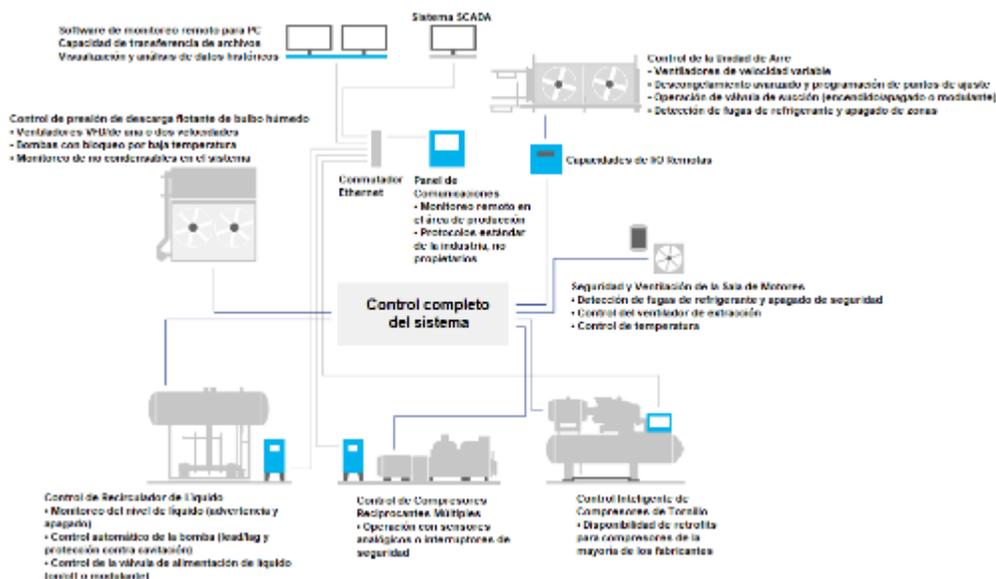
6.4.7. Digitalización y control de sistemas

Resumen técnico	
Acción	Estrategia Activa
Categorización	Digitalización
Uso	Climatización y Refrigeración
Sectores de aplicación	Cadena de frío en alimentos; Producción; Procesamiento; Empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes; Terciario; Cadena de frío en salud; Industrial.

La digitalización y automatización en los sistemas de refrigeración industrial han reemplazado los antiguos sistemas on/off por controladores PID (Proporcional, Integral y Derivativo), lo que permite ajustes continuos y precisos en la operación. Esto mejora el control de la temperatura y la eficiencia del sistema [20].

En los sistemas automatizados, los sensores monitorean las condiciones en tiempo real, ajustando dinámicamente la cantidad de fluido refrigerante con válvulas termostáticas y ajustando la rotación del compresor con inversores de frecuencia, lo que resulta en un ahorro de energía.

Figura 8. Ejemplo de un sistema de refrigeración con sistema completo de digitalización y control.



Fuente: Adaptado de GEA Group Aktiengesellschaft, 2024.

La principal ventaja de la automatización es el control de temperatura más preciso, reduciendo el error entre la temperatura real y la ajustada. Esto optimiza el proceso de refrigeración y mejora la calidad del producto. Además, la eficiencia energética mejora, con un COP más alto, lo que reduce el consumo de energía y genera ahorros.

La automatización también reduce los costos de mantenimiento y el desgaste de los componentes, ya que la operación controlada y suave disminuye los picos de consumo y aumenta la vida útil de los equipos.

6.4.8. Sistemas de refrigeración y chiller con bajo GWP (<100GWP)

Resumen técnico	
Acción	Estrategia Activa
Categorización	Cambio tecnológico
Uso	Refrigeración
Sectores de aplicación	Transporte refrigerado; Cadena de frío en alimentos; Producción; Procesamiento; Empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes; Terciario; Cadena de frío en salud; Industrial.

Los sistemas de refrigeración y chillers con bajo Potencial de Calentamiento Global (GWP) son tecnologías clave para reducir el impacto ambiental asociado con el uso de refrigerantes. Estos sistemas emplean refrigerantes cuyo GWP es inferior a 100, como el dióxido de carbono (CO₂), el propano (R290), el amoníaco (R717) y los refrigerantes basados en hidrofluoroolefinas (HFO) e hidrocarburos.

Los sistemas de refrigeración que operan con CO₂ o con refrigerantes de bajo GWP incluyen componentes como compresores, evaporadores y enfriadores de gases, los cuales permiten mantener un rendimiento óptimo en aplicaciones tanto de media como baja temperatura. Además, los chillers, tanto eléctricos por compresión como de absorción, son también cada vez más comunes en este tipo de sistemas, y se aplican en diversos contextos, incluidos los distritos térmicos.

A continuación, se presenta una tabla comparativa que resume las principales características de algunos refrigerantes ampliamente utilizados. En ella, se destacan su Potencial de Calentamiento Global (GWP), sus aplicaciones más comunes y una breve descripción de sus ventajas y limitaciones ambientales.

Cuadro 1. Comparativa de Refrigerantes: Impacto Ambiental y Principales Aplicaciones. Fuente: The Linde Group, s.f.

Refrigerante	GWP	Principales usos	Descripción
Propano (R290)	3	Sistemas domésticos y comerciales	Bajo impacto ambiental, sin afectar la capa de ozono, efecto reducido en calentamiento global.
Amoníaco (R717)	0	Sistemas industriales	Alta eficiencia, pero limitado por su toxicidad.
CO ₂ (R744)	1	Aplicaciones comerciales e industriales	Bajo impacto ambiental, alta eficiencia energética.

Los sistemas de refrigeración y chillers de bajo GWP suelen incorporar tecnologías avanzadas, como compresores de velocidad variable, lo que contribuye a mejorar su eficiencia operativa bajo diversas condiciones de carga. Esta eficiencia energética reduce el consumo de electricidad y minimiza las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la generación de energía.

Esta estrategia ha sido identificada por consultoría y se encuentra contemplada en la **Resolución 504 en Colombia** refuerza la importancia de promover el uso de refrigerantes con bajo GWP, contribuyendo así a una transición hacia una industria de refrigeración más sostenible. A nivel global, la presión regulatoria para reducir el uso de refrigerantes con altos GWP ha impulsado la adopción de estas tecnologías, en cumplimiento con acuerdos internacionales como el Protocolo de Montreal y el Acuerdo de París.

6.4.9. Control de fugas y aislamiento en tuberías (buenas prácticas)

Resumen técnico	
Acción	Estrategia Operativa
Categorización	Buenas prácticas
Uso	Refrigeración
Sectores de aplicación	Transporte refrigerado; Cadena de frío en alimentos; Producción; Procesamiento; Empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes; Terciario; Cadena de frío en salud; Industrial.

Detectores de Refrigerante

Las fugas comprometen el rendimiento del sistema, incrementan el consumo de energía y los costos de mantenimiento. El control de fugas de refrigerante es fundamental para garantizar la eficiencia energética, la seguridad operativa y la protección del medio ambiente. La instalación de detectores de refrigerante permite identificar fallas rápidamente, reduciendo estos impactos y promoviendo una operación más sostenible.

Los detectores de fugas evitan la sobrecarga de compresores, disminuyen el consumo energético y reducen los riesgos de seguridad, como intoxicaciones y explosiones en espacios cerrados. También son esenciales para cumplir con las normativas ambientales y ahorrar recursos en reparaciones y reposición de refrigerante.

La instalación adecuada de los detectores es clave [27]. Deben ubicarse según la densidad del refrigerante: cerca del suelo para gases más densos que el aire, en el techo para gases más ligeros. Es importante evitar áreas sujetas a vibraciones, fuentes de calor o condensación, además de posicionar los sensores cerca de posibles puntos de fuga. Cualquier método de protección para el sensor debe preservar su capacidad de detección.

Aislamiento Térmico en Tuberías

El aislamiento de las tuberías de refrigerante es esencial para los sistemas de refrigeración, desempeñando un papel clave en la eficiencia energética, el control de la humedad y la prevención de fallos operativos. Estos sistemas varían según la aplicación (comercial o industrial), el tipo de fluido refrigerante (tradicional o natural) y las condiciones operativas, lo que requiere soluciones específicas para cada caso.

Uno de los principales desafíos que enfrentan los sistemas de refrigeración es la humedad, que puede provocar condensación, corrosión, formación de hielo y crecimiento de moho. Estos problemas afectan la eficiencia térmica y comprometen la integridad del sistema. El aislamiento térmico actúa como una barrera fundamental, reduciendo el flujo de calor hacia los fluidos refrigerantes, controlando la humedad y evitando la condensación superficial y la formación de hielo.

Según el manual de ASHRAE [26], los materiales de célula cerrada, como el vidrio celular, el elastómero flexible, el poliisocianurato y el poliestireno, son los más recomendados por su baja transmisión de vapor, resistencia a la absorción de agua y durabilidad. El elastómero flexible, en particular, se destaca por su barrera de vapor integrada y su estructura de célula cerrada, siendo ampliamente utilizado durante más de 50 años.

Para garantizar un rendimiento duradero, es esencial que todas las juntas de aislamiento se sellen con adhesivos específicos del fabricante, creando una barrera continua contra el vapor. En entornos exteriores, el aislamiento debe protegerse contra la radiación UV y los daños mecánicos mediante revestimientos o capas protectoras formuladas específicamente para estas condiciones.

6.4.10. Ajuste y control de válvula de expansión para control del *superheat*

Resumen técnico	
Acción	Estrategia Operativa
Categorización	Buenas prácticas
Uso	Refrigeración
Sectores de aplicación	Transporte refrigerado; Cadena de frío en alimentos; Producción; Procesamiento; Empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes; Terciario; Cadena de frío en salud; Industrial.

En un sistema de refrigeración o aire acondicionado, la válvula tiene como objetivo medir el refrigerante para que el abastecimiento del evaporador sea hecho correctamente. Ella permite que el refrigerante pase en estado líquido, y entrega una mezcla de líquido y gas, posibilitando que exista el sobrecalentamiento (*"superheat"*), es decir, que el refrigerante completamente evaporado (vapor saturado) absorba más calor hasta convertirse en vapor sobresaturado [30, 31].

Para que el sistema pueda operar correctamente, es importante que el refrigerante pase por el evaporador y se vaporice por completo, evitando su regreso. Esta es una de las funciones de la válvula y el motivo de la importancia de su ajuste y control [31].

Un sobrecalentamiento inferior, por ejemplo, no asegura la evaporación total del fluido, lo que provoca el regreso del líquido al compresor. Mientras que un sobrecalentamiento superior disminuye la capacidad del evaporador [31], generando una refrigeración deficiente y un consumo excesivo de energía.

Esta estrategia ha sido identificada por la consultoría y se encuentra contemplada en el [Manual de Buenas Prácticas en Refrigeración](#), del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

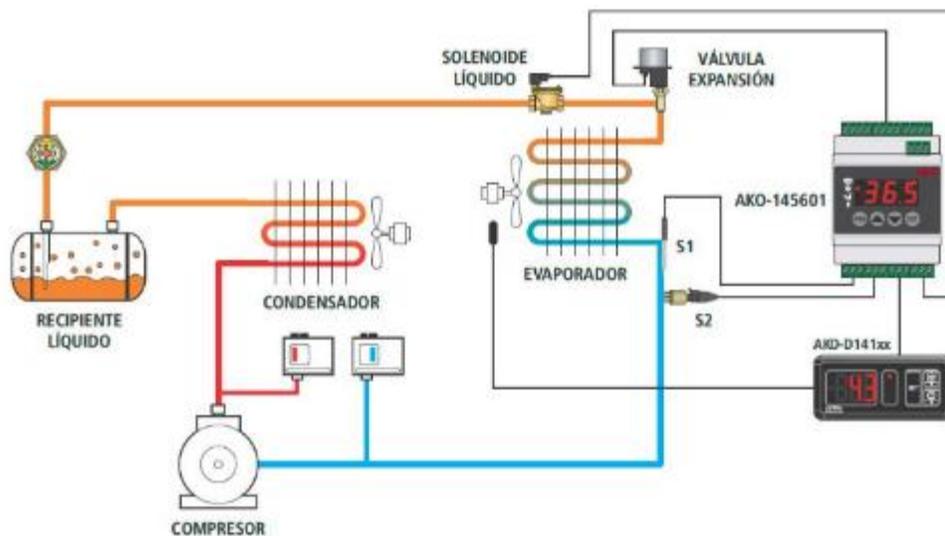
6.4.11. Sistema con válvula de expansión electrónica

Resumen técnico	
Acción	Estrategia Activa
Categorización	Cambio tecnológico
Uso	Refrigeración
Sectores de aplicación	Cadena de frío en alimentos; Producción; Procesamiento; Empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes; Terciario; Cadena de frío en salud; Industrial.

La válvula de expansión electrónica proporciona un control más preciso del flujo de refrigerante al serpentín interior [28], se ha comparado con las válvulas termostáticas.

En las válvulas electrónicas, las señales eléctricas de los sensores de temperatura y presión son conectadas a las entradas de un controlador, que tiene un display con la temperatura y presión del sistema. El display muestra los parámetros que están programados en el controlador y posibilita el cambio de estos [32], facilitando la calibración y supervisión del sistema.

Figura 9. Válvula Electrónica



Fuente: Frigoristas Wordpress, s.d.

El control preciso de temperatura y presión, que la válvula electrónica posibilita, mantiene el sobrecalentamiento del refrigerante y reduce las fluctuaciones de presión y temperatura. Esto puede tener un ahorro energético aproximado del 12% [31], porque evita desperdicios y optimiza el sistema [35].

Este componente puede ser utilizado en diversos sectores, incluyendo sistemas de aire acondicionado, refrigeración, vitrinas refrigeradas y procesos industriales [35], siendo una tecnología interesante para Colombia y su Plan nacional de innovación y tecnología en eficiencia energética para la climatización y refrigeración. Esta estrategia ha sido también identificada por la consultoría.

6.4.12. Ventiladores y condensadores con variador

Resumen técnico	
Acción	Estrategia Activa
Categorización	Cambio tecnológico
Uso	Refrigeración y Climatización
Sectores de aplicación	Cadena de frío en alimentos; Producción; Procesamiento; Empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes; Terciario; Cadena de frío en salud; Industrial.

Los ventiladores y condensadores equipados con variador de frecuencia son componentes necesarios en los sistemas de refrigeración modernos, debido a su capacidad para mejorar la eficiencia energética y optimizar el rendimiento del sistema.

Los ventiladores con variador de frecuencia ajustan su velocidad en función de la demanda de refrigeración, lo que les permite operar a menor velocidad cuando la carga térmica es baja, resultando en una reducción del consumo energético. Este ajuste de velocidad variable puede reducir el consumo de energía en hasta un 50%, lo que favorece el ahorro y minimiza el ruido, mejorando el confort acústico del entorno. Además, al operar a velocidades más bajas, los ventiladores generan menos desgaste mecánico, lo que disminuye los costos de mantenimiento a largo plazo y contribuye a la longevidad del sistema.

Por otro lado, los condensadores con variador de frecuencia ajustan su capacidad de enfriamiento según la presión de succión del sistema, lo que permite que el sistema se adapte dinámicamente a las fluctuaciones de carga térmica sin la necesidad de arranques y paradas frecuentes. Este tipo de control mejora la eficiencia energética y reduce el consumo global, lo que se traduce en un ahorro económico significativo en los costos operativos.

Además, al mantener una presión constante en la línea de aspiración, se favorece la conservación de los productos refrigerados al controlar mejor la humedad del ambiente. La función de arranque suave de los variadores de frecuencia elimina los picos de corriente y reduce el desgaste mecánico, lo que extiende la vida útil de los equipos. Este tipo de optimización también facilita la simplificación del diseño del sistema, reduciendo la cantidad de componentes necesarios y, por ende, los costos de instalación.

6.4.13. Mantenimiento adecuado, buena operación con ambientes herméticos, ajuste óptimo del termostato y óptimo seteo de la temperatura

Resumen técnico	
Acción	Estrategia Operativa
Categorización	Buenas prácticas
Uso	Climatización
Sectores de aplicación	Residencial; Terciario.

El mantenimiento adecuado de un refrigerador es para garantizar su eficiencia energética y extender su vida útil. Este proceso incluye prácticas como la revisión periódica y la limpieza de componentes clave, como el condensador y los sellos de las puertas. La realización

de mantenimiento preventivo permite detectar y corregir fallas antes de que se conviertan en problemas mayores, lo cual puede resultar en un consumo energético innecesario y un funcionamiento ineficiente del equipo [15].

Por otro lado, la correcta operación en un ambiente hermético es necesaria para el rendimiento del refrigerador. Esto implica asegurarse de que las puertas cierren adecuadamente, evitando la entrada de aire caliente desde el exterior, lo cual optimiza el esfuerzo del compresor y mejora la estabilidad térmica interna del aparato. La hermeticidad de los sellos de las puertas también es determinante, ya que un mal sellado puede provocar fugas de aire, lo que aumenta la carga de trabajo del sistema y, por ende, el consumo energético [16].

En cuanto al ajuste del termostato, este debe configurarse en la temperatura adecuada para garantizar tanto la conservación de los alimentos como el uso eficiente de la energía. Un termostato mal ajustado puede causar un enfriamiento excesivo o insuficiente, lo que afecta la calidad de los productos almacenados y aumenta el consumo energético. Se recomienda que la temperatura interna del compartimiento de alimentos se mantenga cerca de 3°C, mientras que el congelador debe estar a aproximadamente -18°C [15].

Esta estrategia ha sido identificada por consultoría y se encuentra contemplada en el **Reglamento Técnico para refrigeradores y congeladores** emitido por la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC), **Resolución 859 de 2006**, que regula las especificaciones técnicas para estos aparatos, con énfasis en la eficiencia energética y la seguridad [16].

6.4.14. Aislamiento en Muros y Techos

Resumen técnico	
Acción	Estrategia Pasiva
Categorización	Aprovechamiento de energía
Uso	Climatización
Sectores de aplicación	Residencial.

El aislamiento en muros y techos es una técnica en la construcción, cuyo principal objetivo es mejorar la eficiencia energética de los edificios. Consiste en el uso de materiales que reducen la transferencia de calor entre el interior y el exterior de un inmueble, contribuyendo así a mantener una temperatura confortable en el interior y disminuyendo la necesidad de sistemas de calefacción y refrigeración.

Existen diversos tipos de materiales que se emplean en el aislamiento, tales como la espuma de poliuretano, que ofrece un alto rendimiento térmico y es ideal para espacios pequeños; la fibra de vidrio, que se usa comúnmente en muros y techos debido a su efectividad y bajo costo; la lana de roca, que además de ofrecer aislamiento térmico proporciona beneficios

acústicos y es resistente al fuego; y el poliestireno expandido (EPS), que es ligero y fácil de instalar, siendo utilizado en aplicaciones de aislamiento tanto en muros como en techos [14].

El aislamiento adecuado en estos elementos contribuye a la eficiencia energética de los edificios, reduciendo la demanda de energía, especialmente en climas extremos, donde los costos de calefacción y refrigeración pueden ser elevados. Además, este tipo de aislamiento juega un papel importante en el control de la condensación, evitando problemas de humedad y moho en los muros y techos, lo que es fundamental para mantener un ambiente interior saludable [14].

En cuanto a su instalación, el aislamiento en muros puede realizarse tanto en la parte interior como exterior de las paredes, siendo el aislamiento exterior particularmente eficaz, ya que mejora la eficiencia energética y protege la estructura de las inclemencias del tiempo. En los techos, el aislamiento es esencial, dado que el calor tiende a ascender, y una gran parte de la pérdida de calor en invierno ocurre a través de esta zona [14].

En paralelo, el control solar mediante el mejoramiento del factor U es una estrategia clave para regular las temperaturas internas de las edificaciones. El factor U mide la transmitancia térmica de un material, es decir, la tasa de transferencia de calor. Un bajo valor de factor U es deseable, ya que reduce la cantidad de calor que se transfiere, mejorando el aislamiento térmico y ayudando a mantener temperaturas frescas en climas cálidos, reduciendo la dependencia de sistemas de aire acondicionado [2].

Esta **estrategia ha sido identificada por consultoría** y se encuentra contemplada en la **Resolución N° 549 de 2015** [1]. Ejemplos de materiales y técnicas para mejorar el factor U incluyen: vidrios dobles o aislados, que tienen una capa intermedia que actúa como aislante térmico; películas absorbentes o reflectantes en vidrios; materiales con baja conductividad térmica, como los aislamientos térmicos; y tejados verdes, que también contribuyen a una menor transmitancia térmica. Además, se puede utilizar materiales con bajo factor U y un alto índice de reflectancia solar (SRI), lo que reduce la absorción de calor. Una alternativa económica es pintar los techos y paredes exteriores de blanco, lo que refleja más radiación solar y mantiene el edificio más fresco [2].

6.4.15. Vidrios de Baja Emisividad (Low-E) y Vidrio Doble

Resumen técnico	
Acción	Estrategia Pasiva
Categorización	Aprovechamiento de energía
Uso	Climatización
Sectores de aplicación	Residencial.

Los vidrios Low-E se caracterizan por su recubrimiento especial que refleja la radiación térmica, lo que permite un control eficaz del intercambio de calor. Durante el invierno, estos vidrios minimizan la pérdida de calor hacia el exterior, mientras que en verano limitan la ganancia térmica desde el exterior hacia el interior, optimizando el balance térmico del edificio. Adicionalmente, ofrecen beneficios como el control del deslumbramiento, mejorando el confort visual, y la protección contra la radiación ultravioleta, lo que ayuda a preservar la integridad de muebles y acabados interiores [13].

El vidrio doble, por su parte, se compone de dos láminas de vidrio separadas por una capa de aire o gas inerte, como el argón o el criptón, que actúa como barrera aislante. Este diseño reduce significativamente la transferencia térmica, previene la formación de condensación y contribuye a mantener temperaturas interiores más estables, disminuyendo la dependencia de sistemas de climatización activa [13].

Esta **estrategia fue identificada por la consultoría** como una solución clave para optimizar la eficiencia energética. La combinación de estas dos tecnologías resulta eficaz en términos de aislamiento térmico y control solar, maximizando tanto la eficiencia energética como el confort interior. Su implementación es relevante en proyectos de construcción sostenible, ya que contribuye a la reducción del consumo energético y de las emisiones asociadas.

6.4.16. Materiales Térmicos y Diseño con Masa Térmica

Resumen técnico	
Acción	Estrategia Pasiva
Categorización	Aprovechamiento de energía
Uso	Climatización
Sectores de aplicación	Residencial; Terciario.

Los materiales térmicos y el diseño con masa térmica constituyen elementos para la arquitectura de edificaciones energéticamente eficientes, en el contexto del diseño solar pasivo. Estas estrategias son para regular de manera efectiva la temperatura interior, promoviendo el confort térmico y disminuyendo la dependencia de sistemas mecánicos de calefacción y refrigeración.

Los materiales térmicos, como el concreto, la mampostería, el agua y ciertos tipos de cerámica, destacan por su capacidad de absorber, almacenar y liberar calor. Esta propiedad permite que, durante el día, dichos materiales acumulen la energía solar, liberándola gradualmente durante la noche para estabilizar la temperatura interior. Características como

alta densidad y conductividad térmica los convierten en componentes idóneos para pisos, paredes y techos en edificaciones pasivas. Su uso estratégico busca maximizar el rendimiento energético, optimizando la absorción y liberación de calor según las condiciones climáticas [13].

El diseño con masa térmica requiere una planificación que integre la orientación de los elementos constructivos, garantizando su exposición óptima al sol. Este diseño considera el equilibrio entre superficies de vidrio y masa térmica, fundamental para evitar sobrecalentamiento en climas cálidos y asegurar un calentamiento eficiente en climas fríos. Además, incorpora técnicas como la ventilación natural para mejorar la circulación del aire y reducir el uso de sistemas mecánicos de refrigeración [13].

La estrategia ha sido **identificada por la consultoría** como una medida de eficiencia energética en el contexto colombiano, estas estrategias encuentran respaldo en la **Guía para Materiales de Construcción Sostenibles del 2022**, que promueve el uso de materiales locales y sostenibles. Este documento establece lineamientos que refuerzan el uso de materiales térmicos como parte de un enfoque integral hacia edificaciones energéticamente eficientes y sostenibles, contribuyendo a la reducción de la huella ambiental del sector construcción.

6.4.17. Protección Solar y Sombras Estratégicas

Resumen técnico	
Acción	Estrategia Pasiva
Categorización	Aprovechamiento de energía
Uso	Climatización
Sectores de aplicación	Residencial.

El sombreado constituye una estrategia para el diseño de edificaciones energéticamente eficientes, ya que permite controlar la ganancia térmica y mejorar el confort térmico en el interior de los espacios. Su implementación adecuada se basa en el uso de dispositivos, como terrazas, toldos, aleros y protecciones solares, los cuales deben diseñarse considerando la carta solar de la ubicación. Este recurso facilita la planificación de dispositivos que bloquean la radiación solar en momentos no deseados y permiten su entrada cuando sea beneficiosa.

En fachadas orientadas al norte y sur, donde los rayos solares son más intensos cuando el sol se encuentra en posiciones altas, los parasoles horizontales, como aleros o terrazas, resultan particularmente eficaces. Por otro lado, en las fachadas este y oeste, donde la incidencia solar es lateral y más pronunciada por la tarde en el oeste, los dispositivos de sombreado vertical, como las aletas o brise soleil, ofrecen una solución eficiente.

En climas tropicales, las ventanas con sombra son necesarias para reducir la ganancia de calor. Los dispositivos horizontales son ideales para proteger ventanas expuestas a radiación solar en ángulos altos, mientras que los verticales son efectivos contra la radiación en ángulos bajos. Además, en fachadas que reciben radiación solar en distintos ángulos a lo largo del año, es posible combinar elementos de sombreado horizontales y verticales para optimizar el control térmico.

Aunque los dispositivos internos como cortinas y persianas pueden complementar el control de la radiación solar, son menos eficientes que las soluciones externas. Sin embargo, estos elementos contribuyen a mitigar el deslumbramiento, siendo útiles en situaciones donde no se dispone de un control externo adecuado.

La estrategia ha sido identificada por la consultoría y en Colombia, **no existe una norma o ley específica** directamente relacionada con el sombreado de edificaciones o dispositivos pasivos de protección solar. Sin embargo, las prácticas asociadas con la eficiencia energética se regulan de manera más amplia dentro de la normativa nacional. Esto incluye regulaciones generales sobre construcción sostenible, eficiencia energética y el uso de tecnologías que optimicen el consumo de energía en edificaciones, las cuales pueden involucrar elementos pasivos como el sombreado.

6.4.18. Ventilación Natural y Ventilación Cruzada

Resumen técnico	
Acción	Estrategia Pasiva
Categorización	Aprovechamiento de energía
Uso	Climatización
Sectores de aplicación	Terciario.

La ventilación natural constituye una estrategia eficaz para promover el enfriamiento pasivo en los edificios, aprovechando los flujos de aire externos. Este sistema puede implementarse mediante aberturas de ventilación, cuyo diseño debe estar alineado con el mapa de viento local para optimizar el aprovechamiento de las corrientes. La ventilación, ya sea a través de ventanas o ventiladores, genera una sensación de enfriamiento al favorecer el movimiento del aire.

Una forma de ventilación natural especialmente eficaz es la ventilación cruzada, que se produce cuando existen aberturas en fachadas opuestas o en espacios sin divisiones internas, permitiendo que el aire fluya libremente. Además, el diseño de aberturas ubicadas a mayor altura facilita la eliminación de calor interno, ya que el aire caliente, siendo menos denso, asciende naturalmente, creando lo que se conoce como el efecto chimenea [14].

La ventilación natural puede ser controlada manualmente por los usuarios, quienes abren puertas y ventanas cuando la temperatura externa es inferior a la interna, facilitando el enfriamiento. De igual manera, los usuarios deben cerrar las aberturas cuando las temperaturas externas son más altas, lo que impide el ingreso de calor. En algunos casos, se recomienda la instalación de sistemas de automatización para optimizar este control [14].

El objetivo principal de la ventilación natural es maximizar su uso durante las horas en las que resulta suficiente, minimizando la dependencia del aire acondicionado. Además, el uso de ventiladores (de techo, de mesa o de suelo) complementa la ventilación natural al incrementar su capacidad de enfriamiento. Para un diseño óptimo, se recomienda realizar simulaciones térmicas que permitan especificar el tamaño adecuado de las aberturas y su disposición, garantizando una ventilación eficiente en todo momento [14].

Esta estrategia fue recomendada por **consultoría especializada e identificada durante visitas técnicas**. En Colombia, la ventilación natural y la ventilación cruzada están reguladas dentro de normas que abordan la eficiencia energética y la calidad del aire en los edificios. Por ejemplo, la **Norma Técnica Colombiana NTC 3631** regula la **ventilación en ambientes internos**, especialmente en espacios con **artefactos a gas**, detallando los requisitos mínimos de ventilación. Esta norma incluye principios que favorecen la ventilación cruzada mediante la disposición adecuada de aberturas en fachadas opuestas, asegurando un flujo de aire eficiente entre los espacios.

6.4.19. Cubiertas Frías (Cool Roofs)

Resumen técnico	
Acción	Estrategia Pasiva
Categorización	Aprovechamiento de energía
Uso	Climatización
Sectores de aplicación	Terciario.

Las cubiertas frías, también denominadas "cool roofs", son sistemas de techo diseñados específicamente para reflejar una mayor cantidad de luz solar y absorber menos calor en comparación con los techos convencionales [10]. Estos sistemas se componen de materiales con alta reflectividad y emisividad, lo que les permite reducir significativamente las temperaturas tanto en la superficie del techo como en el interior del edificio. Al reflejar la radiación solar, se limita la cantidad de calor transferido hacia el interior, lo cual mejora la eficiencia energética de los edificios, especialmente en climas cálidos donde la demanda de refrigeración es alta [14].

Los materiales utilizados para fabricar cubiertas frías incluyen membranas de polímero, tejas cerámicas y recubrimientos especiales aplicados sobre techos existentes. La alta reflectividad de estos materiales ayuda a disminuir la cantidad de energía solar absorbida por el techo, lo que contribuye a reducir la carga sobre los sistemas de aire acondicionado y, por ende, los costos operativos. Además, la alta emisividad de estos materiales facilita la liberación del calor acumulado a través de la radiación infrarroja térmica, lo que mantiene las temperaturas interiores más frescas [10].

En términos de sostenibilidad, las cubiertas frías optimizan el consumo energético de los edificios y desempeñan un papel clave en la mitigación del efecto de isla de calor urbano, al reducir las altas temperaturas en zonas urbanas densamente pobladas y mejorar la calidad del aire. Aunque la instalación de estas cubiertas puede implicar un costo inicial más elevado, su durabilidad y la reducción de los costos de mantenimiento a largo plazo pueden justificar la inversión inicial [14].

La estrategia **ha sido identificada por la consultoría**. En Colombia, actualmente **no existe una norma específicamente** dirigida al uso de "cool roofs" o techos fríos. Sin embargo, la **Guía para Materiales de Construcción Sostenibles (2022)** proporciona directrices que pueden ser útiles al integrar tecnologías pasivas como las cubiertas frías en los proyectos de construcción, especialmente en lo que respecta a materiales con alta reflectividad y baja absorción térmica.

6.4.20. Pinturas atérmicas

Resumen técnico	
Acción	Estrategia Pasiva
Categorización	Aprovechamiento de energía
Uso	Climatización
Sectores de aplicación	Residencial, Terciario.

Las pinturas atérmicas son recubrimientos especializados diseñados para optimizar el rendimiento térmico de las superficies, reduciendo la carga térmica en los edificios. Su funcionalidad se basa en dos mecanismos principales: reflejar la radiación solar incidente y minimizar la absorción de calor en las superficies donde se aplican. Esto contribuye a mantener temperaturas interiores más bajas, reduciendo así la necesidad de sistemas activos de enfriamiento. Desde el punto de vista técnico, estas pinturas están formuladas con polímeros acrílicos y aditivos que aumentan su capacidad de reflexión y aislamiento térmico. Una métrica relevante en su evaluación es el Índice de Reflectancia Solar (SRI), que mide la eficiencia de una superficie en la reflexión de la radiación solar; un SRI alto, como el 88% reportado para algunos productos, indica un rendimiento térmico favorable [29].

Estudios recientes subrayan que, aunque las pinturas atérmicas suelen ser altamente efectivas, su relación costo-beneficio puede variar. Opciones más económicas, con índices de SRI superiores, como el 95%, han demostrado ser más eficientes en términos financieros y de rendimiento térmico en algunos casos. Por lo tanto, la selección de estos recubrimientos debe basarse no solo en su precio inicial, sino también en su impacto a largo plazo sobre la eficiencia energética y la reducción de costos operativos [29].

En el ámbito práctico, estas pinturas encuentran aplicaciones en techos y fachadas, especialmente en regiones de climas cálidos. Su implementación fomenta estrategias de enfriamiento pasivo, promoviendo una menor dependencia de sistemas mecánicos de climatización. Esto mejora el confort térmico de los espacios interiores y contribuye a un enfoque más sostenible y ecológico en la gestión térmica de las edificaciones [29].

La estrategia **ha sido identificada por la consultoría**. En Colombia, aunque **no existen regulaciones específicas** dedicadas exclusivamente a las pinturas atérmicas, algunas normas técnicas y resoluciones pueden ser relevantes para este tipo de productos. La **NTC 5828** aborda especificaciones técnicas para pinturas base agua para uso en exteriores, incluyendo aspectos como resistencia a la intemperie y posibles contribuciones al desempeño térmico. Asimismo, la **Resolución 1154 de 2016**, que regula el etiquetado y las especificaciones de calidad para pinturas arquitectónicas, puede aplicarse a productos diseñados con propiedades reflectivas o de eficiencia energética. Sin embargo, la aplicabilidad a pinturas atérmicas dependerá de las formulaciones y de los objetivos específicos de cada producto según lo declarado por los fabricantes.

6.4.21. Película de baja emisividad aplicada directamente en el lado interior de las ventanas o en el marco exterior de la ventana para permitir o evitar ganancias de calor

Resumen técnico	
Acción	Estrategia Pasiva
Categorización	Aprovechamiento de energía
Uso	Climatización
Sectores de aplicación	Residencial, Terciario.

La película de baja emisividad (low-e) es un recubrimiento especializado que se aplica a superficies de vidrio con el objetivo de mejorar la eficiencia energética en edificios y aumentar el confort térmico de los ocupantes. Este material actúa bloqueando la radiación solar directa y evitando que el calor interior se irradie al exterior, lo que contribuye a reducir el consumo energético y la necesidad de sistemas de climatización. Es especialmente eficaz en climas con cambios estacionales marcados, donde el control térmico es esencial.

Las películas de baja emisividad generalmente tienen tres capas: una adhesiva, una capa de película de poliéster y un revestimiento resistente. Aunque tienen la capacidad de reflejar la radiación infrarroja, que es responsable de la transferencia de calor, también permiten el paso de luz visible, lo que mantiene la luminosidad de los espacios sin comprometer la eficiencia térmica. Además, estas películas bloquean una porción significativa de la radiación ultravioleta, lo que ayuda a proteger muebles, pisos y otros objetos de la decoloración.

La efectividad de estas películas depende de varios factores, como el tamaño y la orientación de las ventanas, el clima local, la orientación del edificio y la presencia de aislamiento interior. Son una solución útil en edificios donde otras estrategias, como el uso de vegetación o dispositivos externos de protección solar, no son viables.

La instalación de las películas de baja emisividad puede ser realizada por profesionales o incluso de manera autónoma, dependiendo del tipo de material. Es importante verificar la compatibilidad con el vidrio existente, especialmente si ya cuenta con algún revestimiento térmico.

La estrategia **ha sido identificada por la consultoría**. En Colombia, aún **no existe una norma específica** sobre el uso de películas de baja emisividad (low-E) para ventanas. Además, la **Resolución 0549 de 2015**, que regula aspectos de eficiencia energética en edificios, fomenta el uso de elementos como vidrios con recubrimientos especiales (que podrían incluir películas de baja emisividad), en el contexto de un diseño de edificios energéticamente eficientes.

6.4.22. Sistemas centralizados (Distritos térmicos)

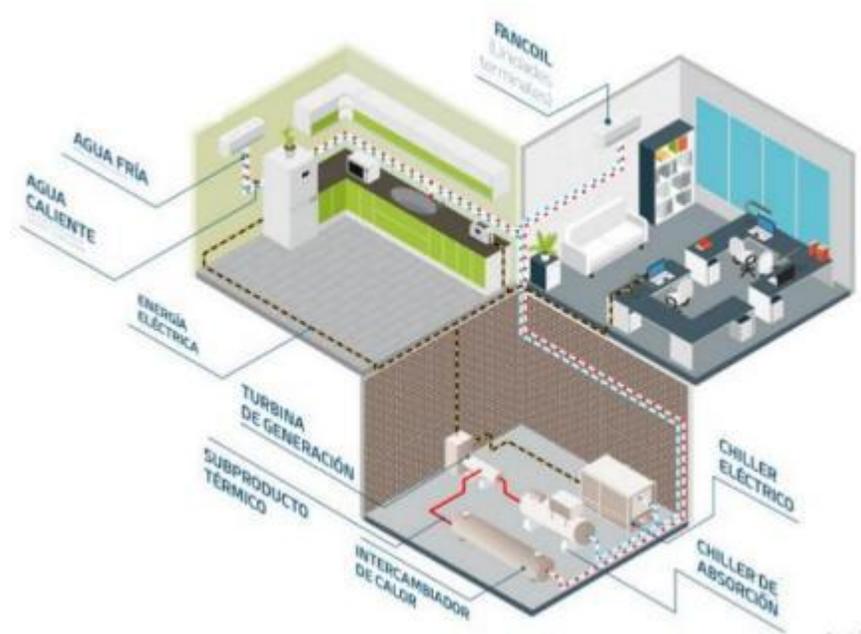
Resumen técnico	
Acción	Estrategia Activa
Categorización	Cambio tecnológico
Uso	Climatización
Sectores de aplicación	Residencial; Terciario.

Un Distrito térmico (*District Heating and Cooling* (DHC)) es un sistema centralizado de generación de energía, cuyo objetivo es proveer agua por medio de redes, siendo un sistema alternativo a los sistemas convencionales. La generación de la energía térmica se produce por medio de calderas, chillers u otras tecnologías [9]. En Colombia, estos sistemas pueden ser utilizados en diferentes sectores, incluyendo el sector terciario y la industria.

Un distrito térmico puede ser intramural o extramural. El distrito intramural atiende la demanda de un solo edificio; mientras que el distrito extramural puede ser para múltiples edificaciones [9].

El distrito intramural es un sistema del edificio, que puede utilizar gas natural y electricidad. La energía generada es utilizada en chillers que suministran agua fría hacia las unidades terminales encargadas de reducir la temperatura del edificio. Al salir de las unidades terminales, el agua regresa a los chillers, donde repite su ciclo [9].

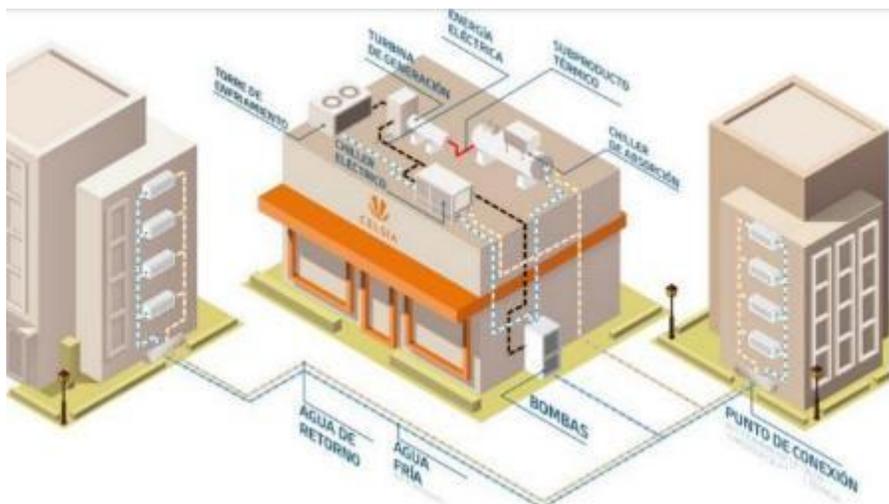
Figura 10. Ejemplo de distrito térmico intramural



Fuente: FIGUEROA; CASTELLANOS, 2023.

Ya el Distrito Extramural suministra agua fría o caliente a través de redes de distribución hacia edificaciones, con el agua llegando a estaciones de intercambio, que cuentan con un punto de medición de consumo de energía térmica y una red interna de distribución, independiente a la red del distrito térmico. Así, se distribuye a las unidades terminales de sus instalaciones, y se garantizan el enfriamiento o la calefacción de los edificios conectados [9].

Figura 11. Ejemplo de distrito térmico extramural



Fuente: FIGUEROA; CASTELLANOS, 2023.

Esta estrategia ha sido mapeada por la consultoría y, en Colombia, la Resolución 181479/2010 establece los requisitos para sistemas de calefacción y refrigeración centralizados [9]. Colombia tiene también una [Guía Metodológica para Distritos Térmicos](#) y un [proyecto de Distritos Térmicos](#).

7. Resultados totalizados por sector

7.1. Diagnostico preliminar

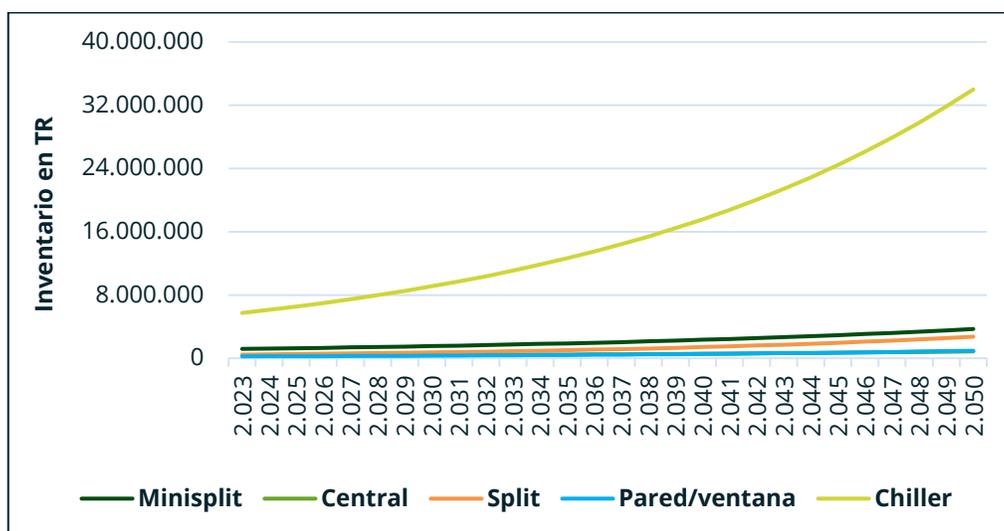
Climatización

Los resultados generados de la implementación de la metodología descrita en la **sección 3.1** del **volumen 2** se exponen en esta sección, 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.

Como resultado a nivel nacional, se obtuvo el inventario en TR el cual se encuentra consignado en la **Tabla 12**. Estos fueron proyectados a 2030 y 2050 con las tasas de crecimiento correspondientes a cada sector, lo cual se puede observar en la **Figura 12**.

Figura 12. Proyección de la demanda de potencia térmica (2023-2050) de climatización por tecnología a nivel nacional



Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Demanda de potencia térmica actual (2023) y proyectada (2030-2050) por tecnología

Piso térmico	Inventario en TR				
	Minisplit	Central	Split	Pared/ventana	Chiller
2023	1.181.962	305.458	459.165	232.810	5.726.923
2030	1.536.927	388.110	728.681	324.417	9.088.440
2050	3.696.672	866.297	2.726.394	940.766	34.004.846

Fuente: Elaboración propia

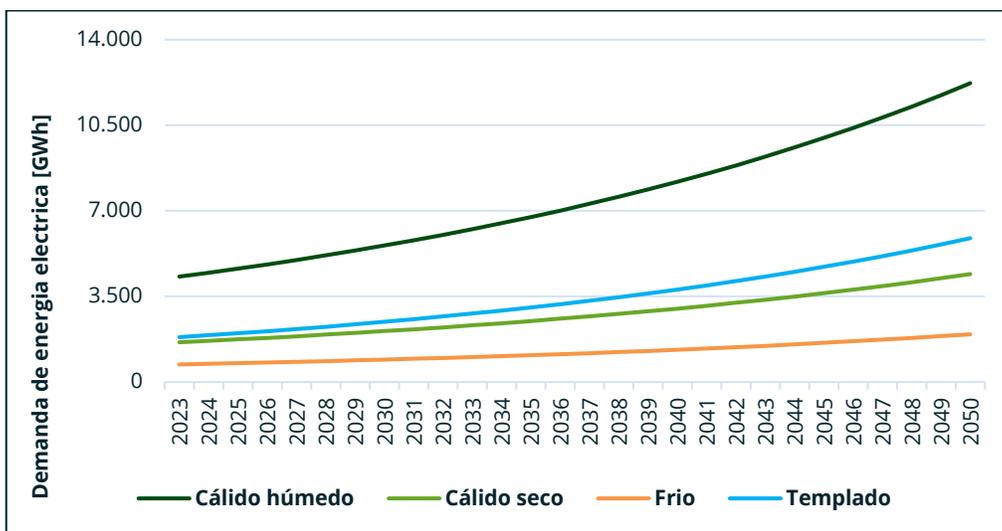
La demanda de energía eléctrica se puede observar en la **Tabla 13**, la cual fue proyectada por piso térmico a 2050. Esto se encuentra consignado en la **Figura 13**.

Tabla 13. Demanda de energía eléctrica (2023) a nivel nacional por piso térmico proyectada a 2030-2050.

Piso térmico	Demanda de energía eléctrica por piso térmico [GWh]			
	Cálido húmedo	Cálido seco	Frío	Templado
2023	4.312	1.626	717	1.836
2030	5.583	2.081	916	2.462
2050	12.220	4.414	1.949	5.883

Fuente: Elaboración propia

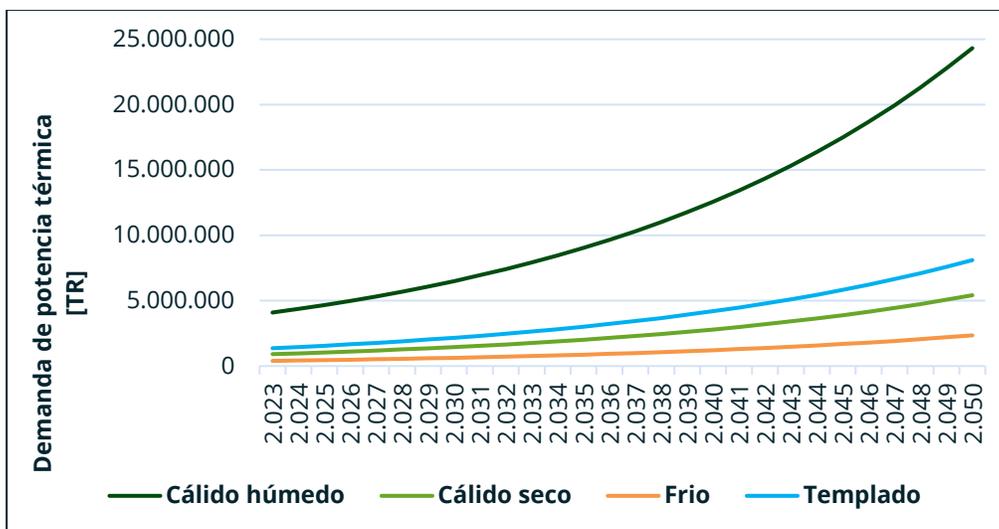
Figura 13. Proyección de demanda de energía eléctrica (2023-2050) de climatización por piso térmico a nivel nacional



Fuente: Elaboración propia

La demanda de potencia térmica por clima instalada en el sector residencial y terciario, la cual fue proyectada a 2030 y 2050, se encuentra consignada en la **Tabla 14**. En la **Figura 14**, está la proyección realizada de esta variable.

Figura 14. Proyección de la demanda de potencia térmica (2023-2050) de climatización por piso térmico a nivel nacional



Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Demanda de potencia térmica actual (2023) y proyectada (2030-2050) por piso térmico

Piso térmico	Demanda de potencia térmica por piso térmico [TR]			
	Cálido húmedo	Cálido seco	Frío	Templado
2023	4.095.166	912.045	394.931	1.364.548
2030	6.498.895	1.447.386	626.742	2.165.493
2050	24.315.935	5.415.464	2.344.986	8.102.298

Fuente: Elaboración propia

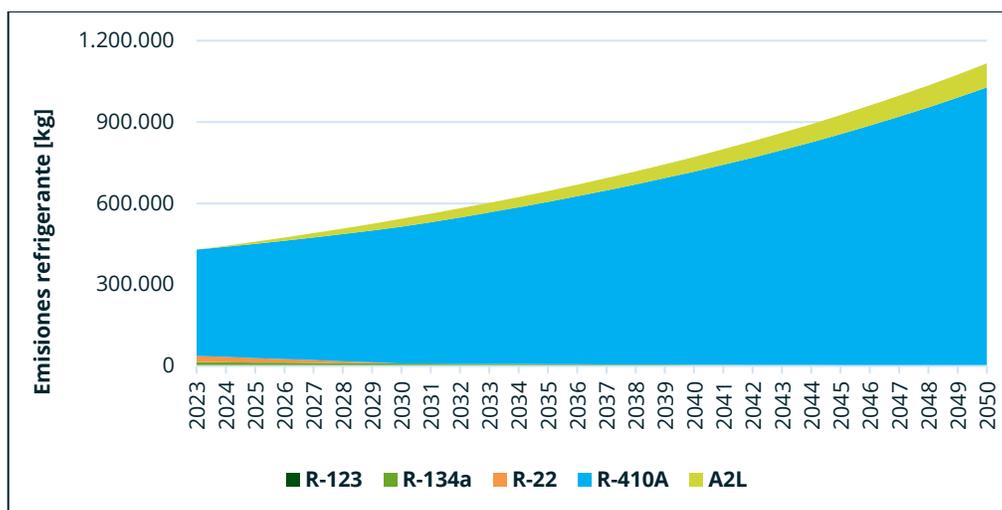
En cuanto a la cantidad de refrigerantes en kg, la dinámica de estos presenta un crecimiento y decrecimiento según los refrigerantes prohibidos y limitados al uso en los equipos de AC. Dada la metodología explicada en la **sección 3.3** del **volumen 2**, los refrigerantes que presentan un crecimiento corresponden solamente al R-410A y A2L, en la **Tabla 15** se tienen especificado la cantidad de refrigerante de la línea base a 2023 y la proyección creciente y decreciente de todos los refrigerantes usados en AC. El comportamiento de estas se puede observar en la **Figura 15**.

Tabla 15. Cantidad de refrigerante actual (2023) y futuro (2030-2050) a nivel nacional dado el uso de AC

Año	Cantidad de refrigerante [kg]				
	R-123	R-134a	R-22	R-410A	A2L
2023	2.073	12.543	23.224	391.270	0
2030	0	9.351	0	504.553	28.949
2050	0	2.509	0	1.024.791	89.024

Fuente: Elaboración propia

Figura 15. Proyección de la cantidad de refrigerante (2023-2050) de climatización a nivel nacional



Fuente: Elaboración propia

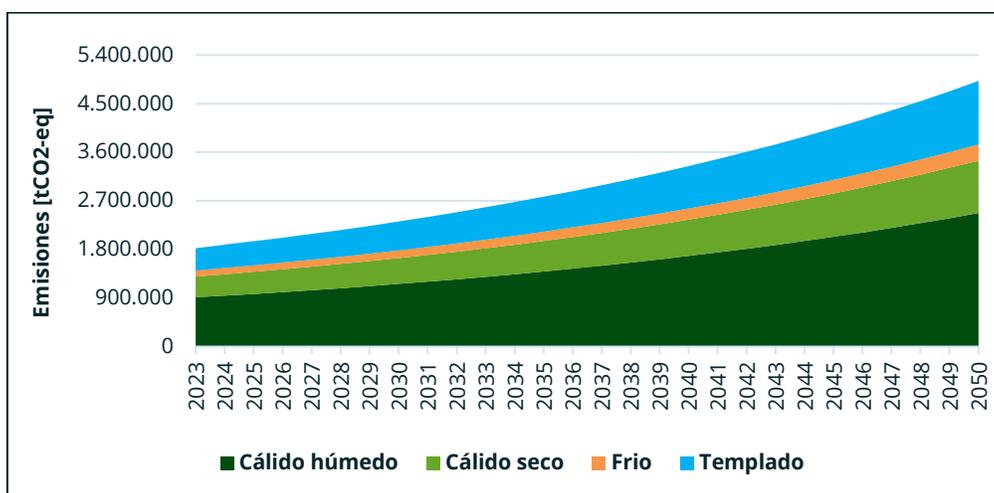
En cuanto a las emisiones equivalentes de CO₂ por AC se sintetizan en la **Tabla 16**. Estas fueron proyectadas a 2030 y 2050 tal como se observa en la **Figura 16**.

Tabla 16. Emisiones equivalentes de GEI emitidas a la atmósfera por piso térmico a nivel nacional

Piso Térmico	Emisiones indirectas [tCO ₂ -eq]	Emisiones directas [tCO ₂ -eq]	Emisiones totales [tCO ₂ -eq]
Cálido húmedo	487.795	425.032	912.827
Cálido seco	180.472	202.094	382.566
Frío	79.287	74.900	154.187
Templado	199.775	174.041	373.816
Total	947.329	876.067	1.823.396

Fuente: Elaboración propia

Figura 16. Proyección de emisiones equivalentes de CO₂ (2023-2050) por piso térmico a nivel nacional



Fuente: Elaboración propia

Refrigeración

A continuación, 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, 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 aplicaron proyecciones individualizadas por sectores. Estas tasas se basan principalmente en el crecimiento del PIB de los diversos sectores económicos del país. No

obstante, siguiendo los lineamientos en Resoluciones 624/2022, 139/2024 y 129/2022, para eliminar o reducir los refrigerantes R-22, R-123, R-507, R-404A y R-134a se proyectan en descenso con erradicación en 2030 y 2040, o disminución del 80% en 2045, según corresponda, bajo lo mencionado en el **volumen 2**. Por ello, estos refrigerantes son sustituidos por el más económico, aunque en caso de no existir alternativa, se sustituyen por el A2L. Como es el caso del sector industrial como cadena de frío en alimentos-procesamiento y procesos industriales. Asimismo, ocurre con el R-452A con la subcategoría cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado.

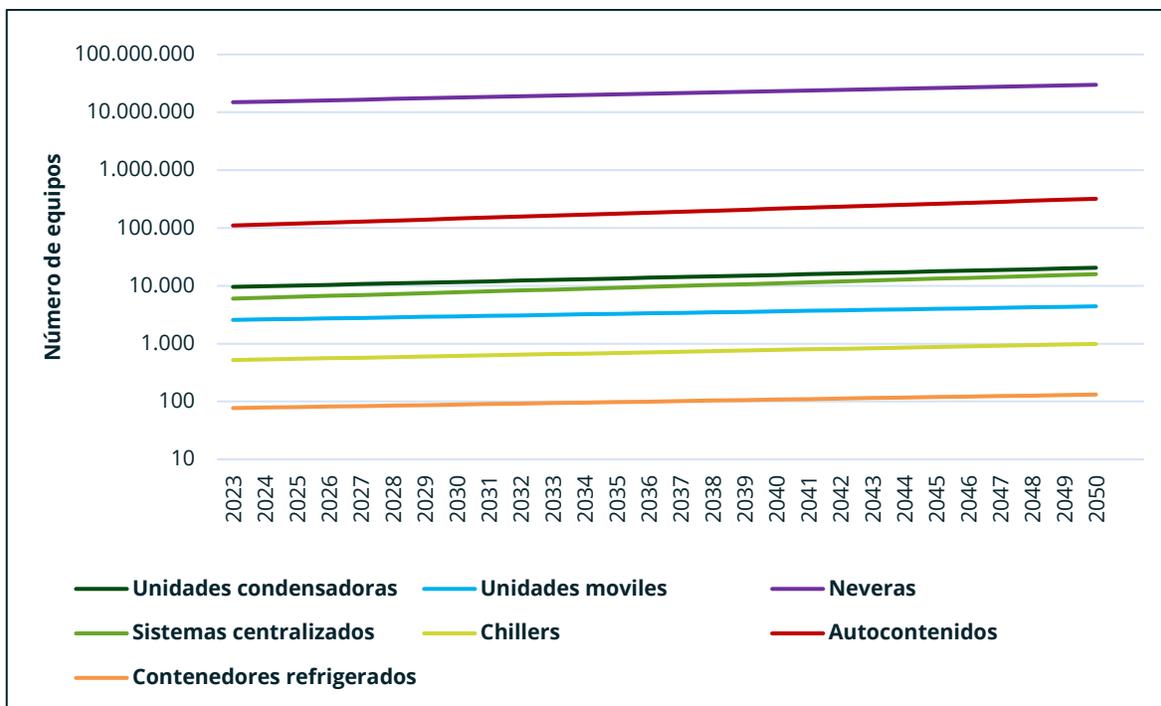
En complemento, como introducción, se presentan los resultados de la demanda satisfecha de refrigeración a nivel nacional, abarcando la cadena de frío en alimentos, en salud y en procesos industriales. La **Tabla 17** muestra el inventario nacional de demanda satisfecha de refrigeración en 2023, junto con las proyecciones estimadas para 2030 y 2050, mientras que la **Figura 17** presenta datos de otros años. Este inventario incluye unidades condensadoras, que tienen una tasa de crecimiento anual de 2,9%; unidades móviles (2%); neveras (1,4%); sistemas centralizados (3,7%); chillers (2,4%); sistemas autocontenidos (4%); y contenedores refrigerados (2%).

Tabla 17. Inventario actual (2023) y futura (2030-2050) de refrigeración – demanda satisfecha

Año	Inventario [número de equipos]						
	Unidades condensadoras	Unidades móviles	Neveras	Sistemas centralizados	Chillers	Autocontenidos	Contenedores refrigerados
2023	9.587	2.577	14.945.546	6.016	521	110.463	77
2030	11.646	2.965	17.887.128	7.726	615	145.256	89
2050	20.532	4.424	29.886.864	15.920	989	319.598	132

Fuente: Elaboración propia

Figura 17. Inventario proyectado de refrigeración – demanda satisfecha



Fuente: Elaboración propia

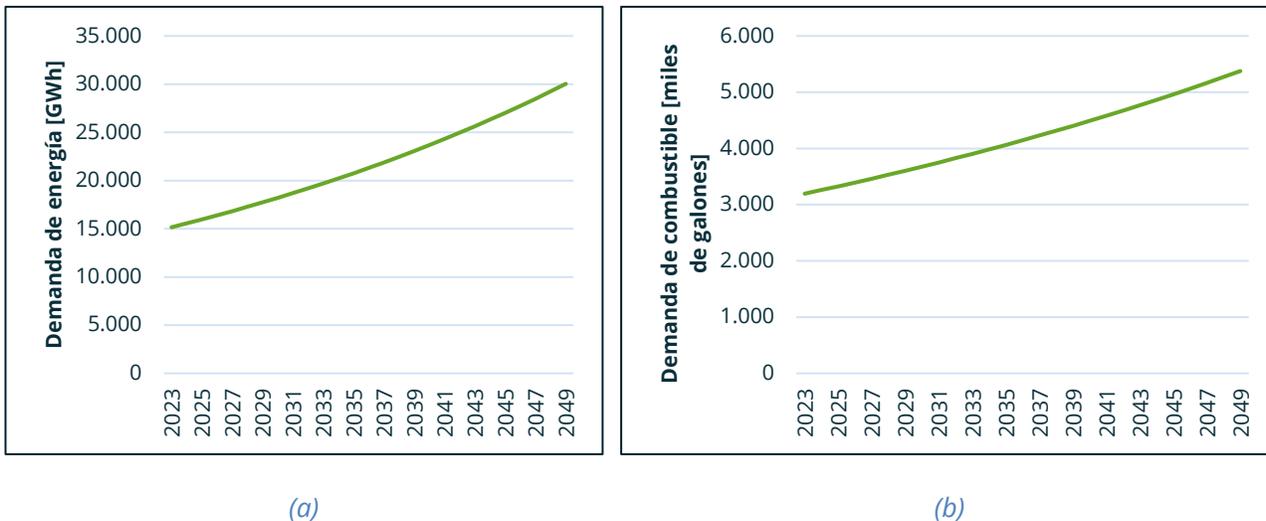
La **Tabla 18** muestra la demanda de energía y combustible para el año 2023, junto con sus proyecciones estimadas para 2030 y 2050. Además, la **Figura 18** incluye datos de otros años. La demanda de energía muestra una tasa de crecimiento anual de 1,7%, y la demanda de combustible, un crecimiento del 2% anual.

Tabla 18. Demanda de energía y combustible actual (2023) y futura (2030-2050) de refrigeración – demanda satisfecha

Año	Demanda de energía y combustible	
	Demanda de energía [GWh/año]	Demanda de combustible [miles de galones]
2023	14.762	3.131
2030	17.729	3.602
2050	30.032	5.375

Fuente: Elaboración propia

Figura 18. Demanda de energía eléctrica proyectada de refrigeración – demanda satisfecha



Fuente: Elaboración propia

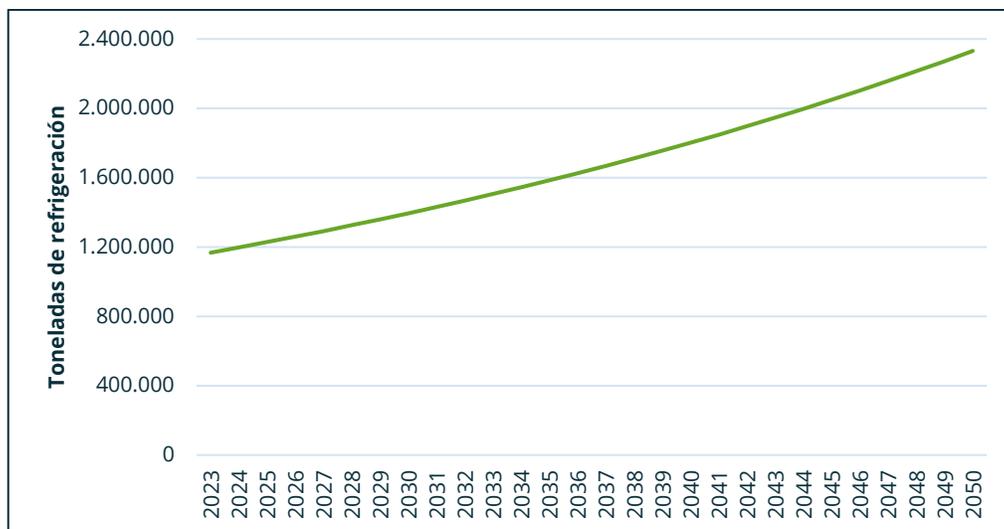
La **Tabla 19** resume la demanda térmica registrada en 2023 y su proyección estimada para 2030 y 2050, mientras que la **Figura 19** presenta los datos correspondientes a otros años. Esta demanda incrementa a una tasa anual de 1,8%.

Tabla 19. Demanda térmica actual (2023) y futura (2030-2050) de refrigeración – demanda satisfecha

Año	Demanda térmica [TR]
2023	1.167.412
2030	1.394.868
2050	2.331.508

Fuente: Elaboración propia

Figura 19. Demanda de potencia térmica proyectada de refrigeración – demanda satisfecha



Fuente: Elaboración propia

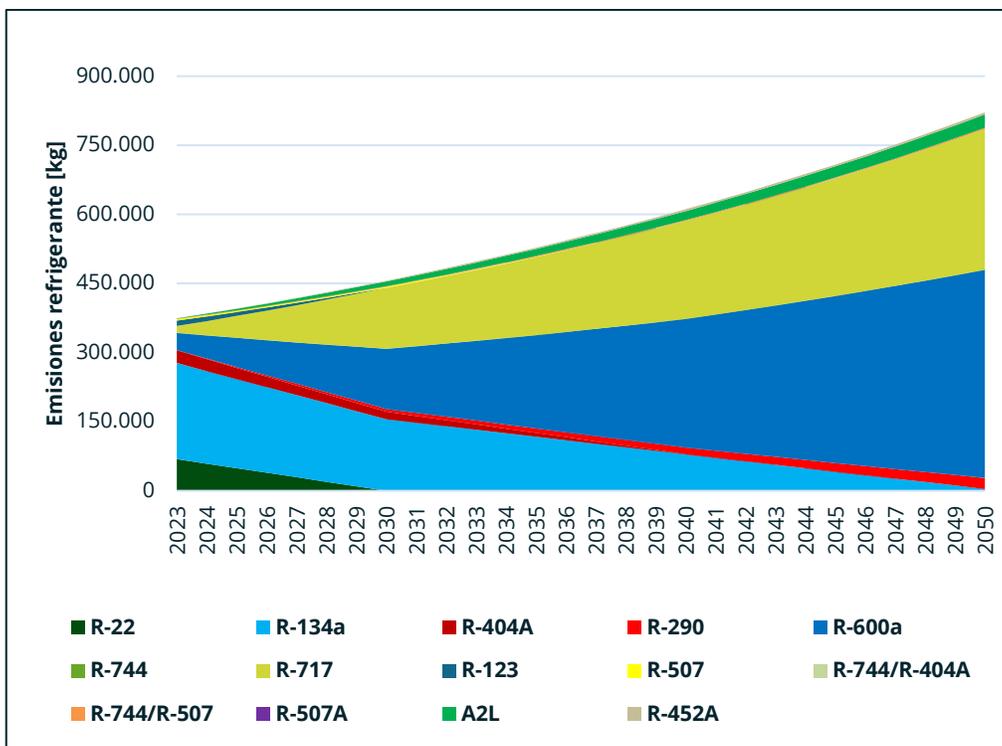
La **Tabla 20** sintetiza la cantidad de emisiones de refrigerantes a la atmósfera en el año 2023, junto con las proyecciones estimadas para 2030 y 2050. Adicionalmente, la **Figura 20** muestra los datos correspondientes a otros años.

Tabla 20. Cantidad de refrigerantes actual (2023) y futura (2030-2050) de refrigeración – demanda satisfecha

Refrigerante	Cantidad de refrigerante[kg]		
	2023	2030	2050
R-22	68.805	0	0
R-134a	208.619	155.526	3.832
R-404A	27.607	16.239	0
R-290	534	6.063	24.046
R-600a	37.199	130.473	451.729
R-744	194	257	571
R-717	14.950	132.094	305.129
R-123	11.447	0	0
R-507	3.352	1.972	0
R-744/R-404A	48	62	132
R-744/R-507	957	1.245	2.646
R-507A	34	20	0
A2L	465	10.473	28.877
R-452A	0	1.467	4.507

Fuente: Elaboración propia

Figura 20. Cantidad de refrigerante proyectado de refrigeración – demanda satisfecha



Fuente: Elaboración propia

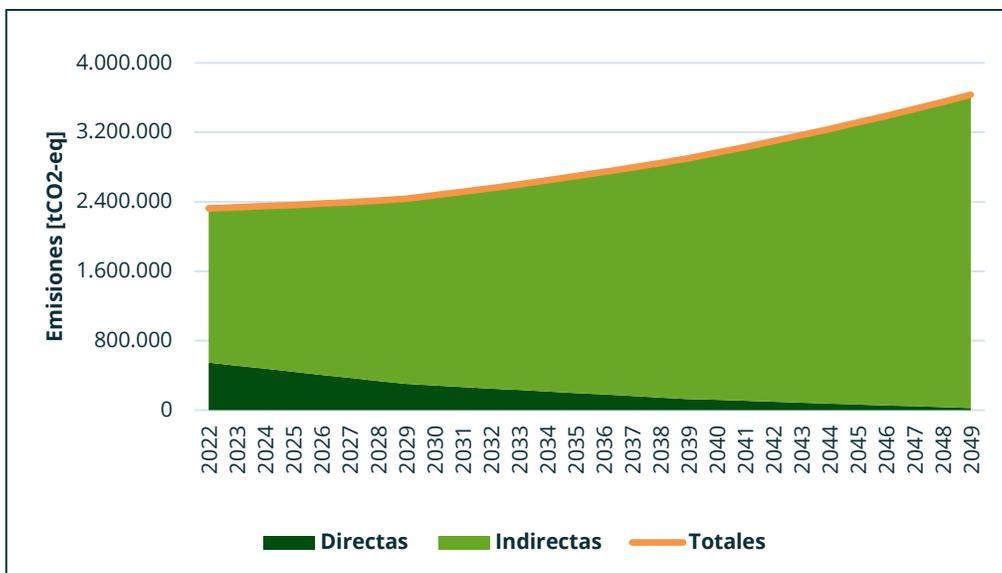
La **Tabla 21** muestra las emisiones de CO₂ generadas por estos equipos en 2023, junto con las proyecciones estimadas para 2030 y 2050, mientras que la **Figura 21** incluye datos de otros años. Las emisiones disminuyen hasta 2030, pero a partir de ese año se espera que crezcan, con una tasa de incremento promedio anual del 1% hasta 2050.

Tabla 21. Emisiones de GEI totales actual (2023) y futura (2030-2050) de refrigeración – demanda satisfecha

Año	Emisiones [tCO ₂ -eq]
2023	2.324.526
2030	2.434.895
2050	3.633.534

Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas de refrigeración – demanda satisfecha



Fuente: Elaboración propia

7.2. Resultados totalizados de los escenarios contemplados

De acuerdo con la información recopilada a lo largo del proyecto donde se identificó el consumo de energía y las emisiones de CO₂ generadas por categoría o subcategoría, se construyó un escenario tendencial teniendo en cuenta las tasas de crecimiento identificadas según la metodología propuesta. Asimismo, de acuerdo con las estrategias identificadas previamente expuestas que tienen como objetivo reducir el consumo de energía eléctrica y las emisiones generadas en cada sector, se propone una serie de escenarios que permiten cuantificar las posibilidades de reducción que se tienen según la combinación de las medidas y/o estrategias.

Refrigeración

Para el sector de refrigeración, se resume de manera general las posibilidades de ahorro energético para cada una de las combinaciones, sumando todos los sectores que tienen un uso intensivo en refrigeración, como lo es la cadena de frío en alimentos, la cadena de frío en salud y los procesos industriales que abarcan todo el consumo en el sector a nivel nacional.

Teniendo en cuenta lo anterior, a través del establecimiento de los escenarios propuestos para cada sector y subsector económico que tiene un uso intensivo en refrigeración como se muestra en el índice 8, se construyen los diferentes escenarios posibles teniendo en cuenta distintas combinaciones que generan una reducción en el consumo de energía y la generación de emisiones. Lo anterior con el fin de poder comparar las alternativas en términos de mayor eficiencia o impacto en la reducción de emisiones.

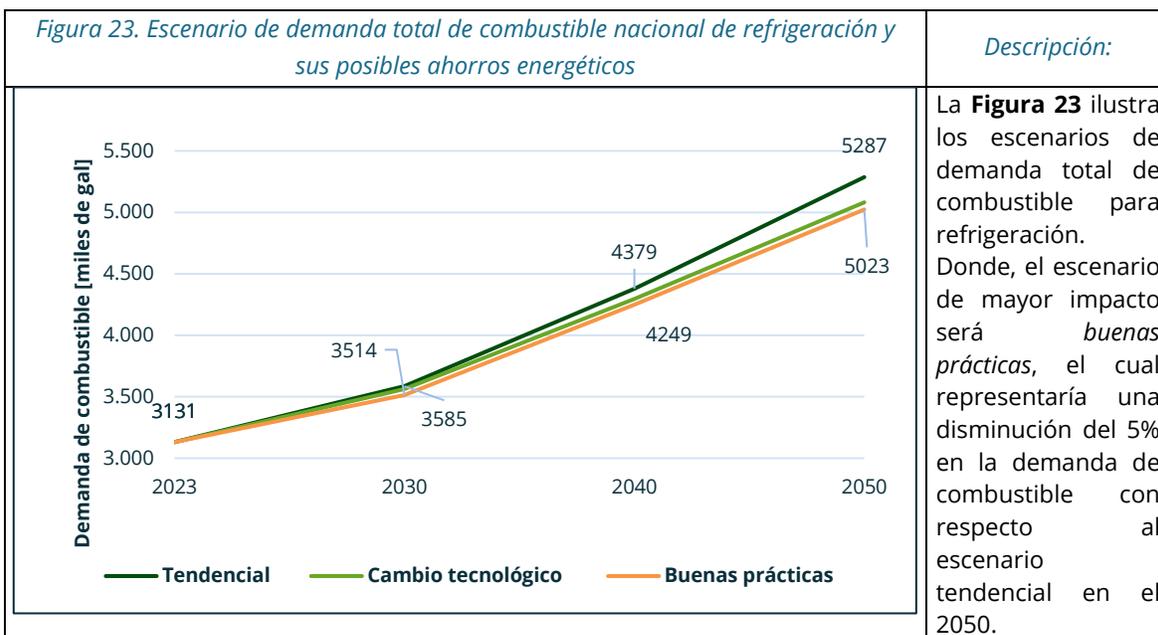
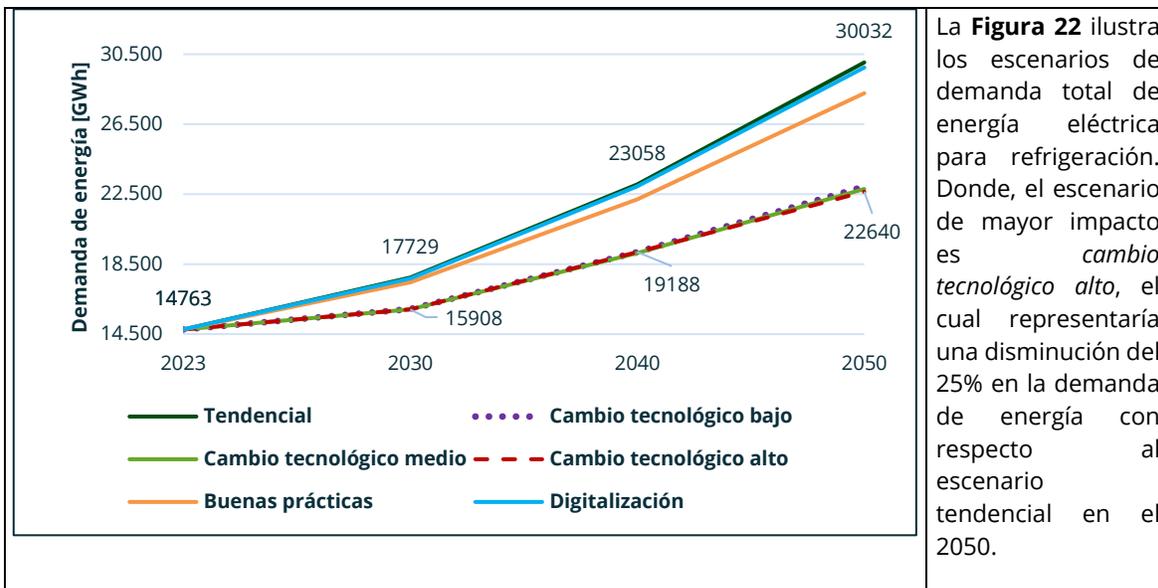
Alternativas de escenarios⁴:

- **Tendencial:** se refiere al escenario del consumo real calculado sumando todos los consumos de refrigeración de los sectores teniendo en cuenta la proyección de crecimiento.
- **Cambio tecnológico bajo:** se refiere al escenario en el cual se incluyen las sumas de todos los consumos de refrigeración de los sectores con la medida de cambio tecnológico menor impacto según se explica en el índice 8. Aunque, dado que los subsectores de residencial y transporte no cuentan con este escenario, se toma cambio tecnológico.
- **Cambio tecnológico medio:** se refiere al escenario en el cual se incluyen las sumas de todos los consumos de refrigeración de los sectores con las medidas de cambio tecnológico de un impacto moderado según se explica en el índice 8. (tiene en cuenta cambio tecnológico bajo + medidas de impacto moderado). Aunque, dado que los subsectores de residencial y transporte no cuentan con este escenario, se toma cambio tecnológico.
- **Cambio tecnológico alto:** se refiere al escenario en el cual se incluyen las sumas de todos los consumos de refrigeración de los sectores con las medidas de cambio tecnológico de mayor impacto según se explica en el índice 8. (tiene en cuenta cambio tecnológico medio + medidas de impacto significativo). Aunque, dado que los subsectores de residencial y transporte no cuentan con este escenario, se toma cambio tecnológico.
- **Buenas prácticas:** se refiere al escenario en el cual se incluyen las sumas de todos los consumos de refrigeración de los sectores teniendo en cuenta la inclusión de buenas prácticas que generan una reducción del consumo impacto según se explica en el índice 8.
- **Digitalización:** refiere al escenario en el cual se incluyen las sumas de todos los consumos de refrigeración de los sectores con la medida de digitalización según se explica en el índice 8. Aunque, dado que los subsectores de producción, residencial y transporte no cuentan con este escenario, se toma el tendencial.

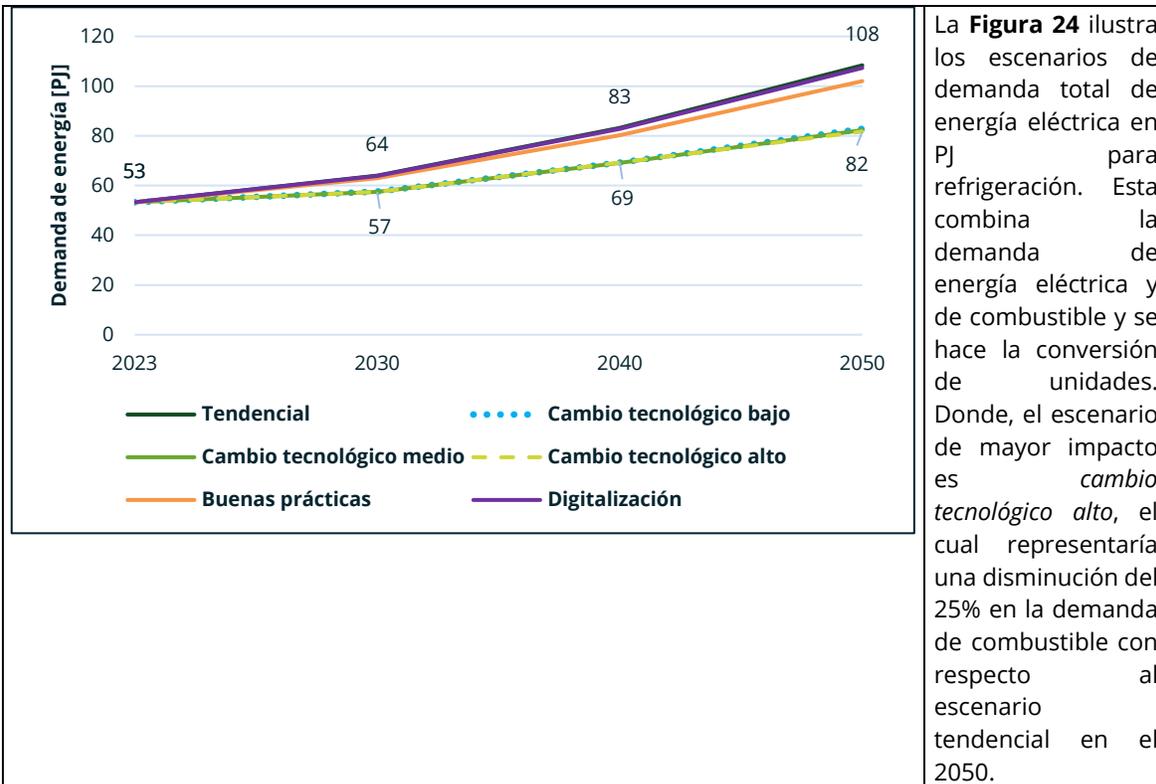
A continuación, se presentan los resultados generales para el sector de refrigeración en términos de emisiones generadas y consumo de energía.

<i>Figura 22. Escenario de demanda total de energía eléctrica nacional de refrigeración y sus posibles ahorros energéticos</i>	<i>Descripción:</i>
--	---------------------

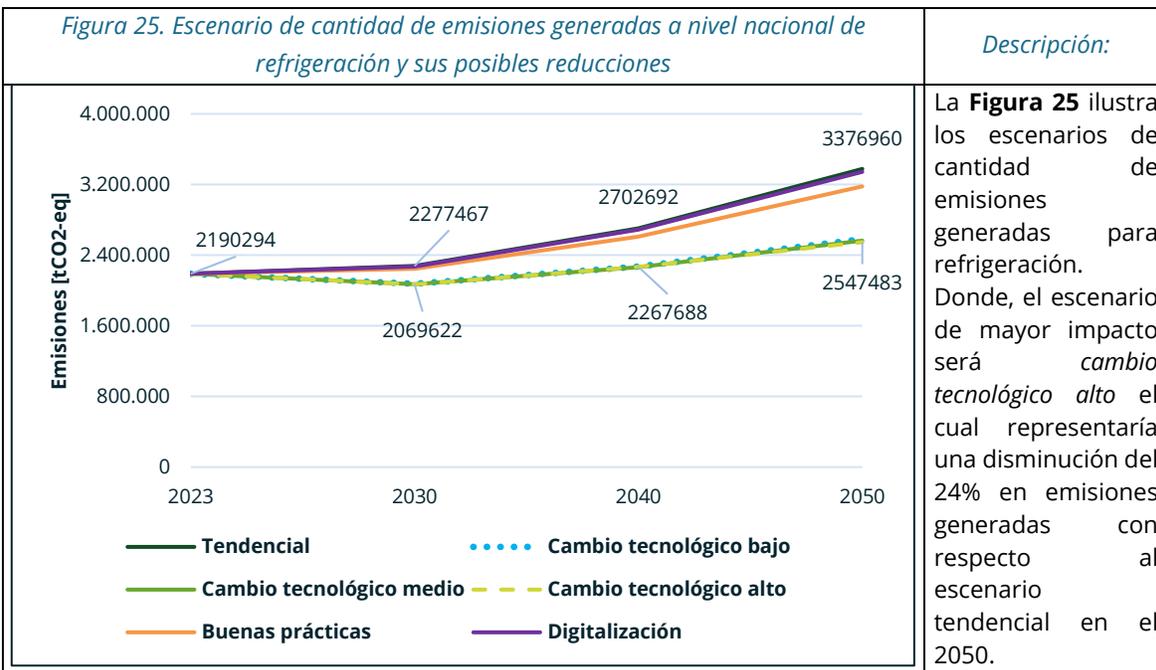
⁴ Las referencias de los porcentajes de eficiencia y penetración seleccionados para cada tecnología que compone cada sector o subsector se encuentran en el Anexo “Categorización tecnología climatización y refrigeración”.



<p><i>Figura 24. Escenario de demanda total de energía (PJ) nacional de refrigeración y sus posibles ahorros energéticos</i></p>	<p><i>Descripción:</i></p>
--	----------------------------



La **Figura 24** ilustra los escenarios de demanda total de energía eléctrica en PJ para refrigeración. Esta combina la demanda de energía eléctrica y de combustible y se hace la conversión de unidades. Donde, el escenario de mayor impacto es *cambio tecnológico alto*, el cual representaría una disminución del 25% en la demanda de combustible con respecto al escenario tendencial en el 2050.



Descripción:
La **Figura 25** ilustra los escenarios de cantidad de emisiones generadas para refrigeración. Donde, el escenario de mayor impacto será *cambio tecnológico alto* el cual representaría una disminución del 24% en emisiones generadas con respecto al escenario tendencial en el 2050.

En cuanto a la demanda de energía eléctrica en general, los escenarios más favorables están asociados al cambio tecnológico, independientemente de su nivel. Esto se debe a que el sector

residencial representa el 89% de la demanda total y cuenta con un único escenario de cambio tecnológico, lo que influye en los tres niveles considerados (bajo, medio y alto).

Por otro lado, la demanda de combustible, restringida exclusivamente a los subsectores de producción y transporte refrigerado, presenta una baja variación, destacándose particularmente el escenario de buenas prácticas.

Finalmente, en la generación de emisiones, el escenario más influyente está relacionado con el cambio tecnológico, específicamente con la sustitución de neveras por modelos con etiqueta A.

Climatización

Para el sector de climatización, también se resume de manera general las posibilidades de ahorro energético para cada una de las combinaciones, sumando todos los sectores que tienen un uso intensivo en climatización, como el sector residencial y el sector terciario, que abarcan todo el consumo representativo en el sector a nivel nacional. A continuación, se presentan los resultados generales para el sector de climatización en términos de emisiones generadas y consumo de energía.

Alternativas de escenarios⁵:

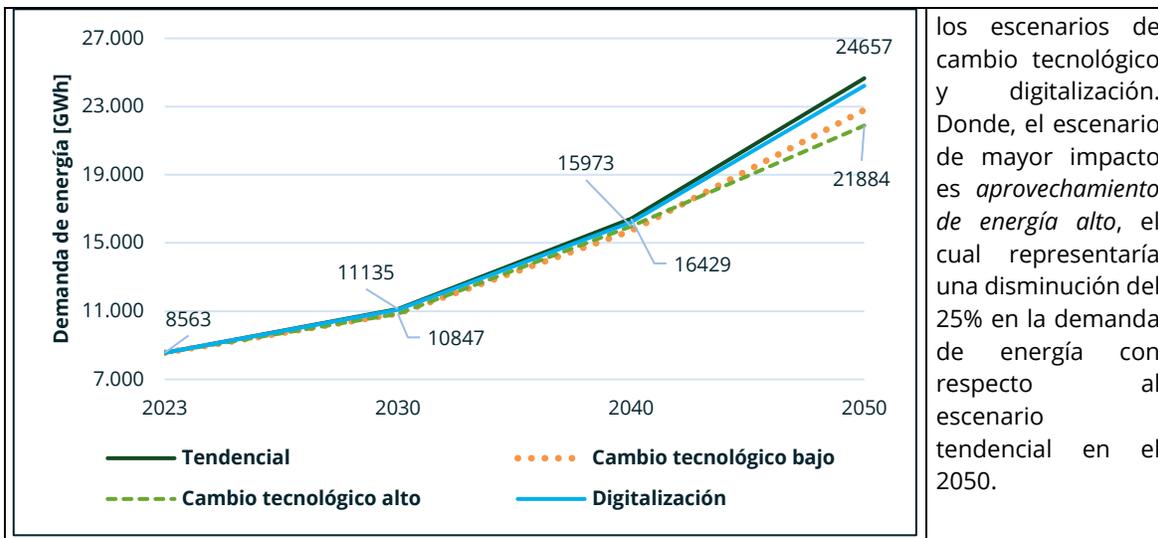
- **Tendencial:** se refiere al escenario del consumo tendencial previsto calculado sumando todos los consumos de refrigeración de los sectores teniendo en cuenta la proyección de crecimiento.
- **Aprovechamiento de energía bajo:** se refiere al escenario en el cual se incluyen las sumas de todos los consumos de refrigeración de los sectores con el aprovechamiento de energía de menor impacto según se explica en el índice 8.
- **Aprovechamiento de energía medio:** se refiere al escenario en el cual se incluyen las sumas de todos los consumos de refrigeración de los sectores con aprovechamiento de la energía de un impacto moderado según se explica en el índice 8. (tiene en cuenta aprovechamiento de energía bajo + medidas de impacto moderado)
- **Aprovechamiento de energía alto:** se refiere al escenario en el cual se incluyen las sumas de todos los consumos de refrigeración de los sectores con aprovechamiento de la energía de mayor impacto según se explica en el índice 8. (tiene en cuenta aprovechamiento de energía medio + medidas de impacto significativo)
- **Cambio tecnológico bajo:** se refiere al escenario en el cual se incluyen las sumas de todos los consumos de refrigeración de los sectores con la medida de cambio tecnológico de menor impacto según se explica en el índice 8.
- **Cambio tecnológico medio:** se refiere al escenario en el cual se incluyen las sumas de todos los consumos de refrigeración de los sectores con cambio

⁵ Las referencias de los porcentajes de eficiencia y penetración seleccionados para cada tecnología que compone cada sector o subsector se encuentran en el Anexo "Categorización tecnología climatización y refrigeración".

- tecnológico de un impacto moderado según se explica en el índice 8. (tiene en cuenta cambio tecnológico bajo + medidas de impacto moderado)
- **Cambio tecnológico alto:** se refiere al escenario en el cual se incluyen las sumas de todos los consumos de refrigeración de los sectores con cambio tecnológico de mayor impacto según se explica en el índice 8. (tiene en cuenta cambio tecnológico medio + medidas de impacto significativo)
 - **Buenas prácticas:** se refiere al escenario en el cual se incluyen las sumas de todos los consumos de refrigeración de los sectores teniendo en cuenta la inclusión de buenas prácticas que generan una reducción del consumo impacto según se explica en el índice 8.
 - **Digitalización:** refiere al escenario en el cual se incluyen las sumas de todos los consumos de refrigeración de los sectores con la medida de digitalización según se explica en el índice 8. Aunque, dado que los sectores residencial y transporte no cuentan con este escenario, se toma el tendencial.

A continuación, se presentan los resultados generales para el sector de climatización en términos de consumo de energía y emisiones generadas.

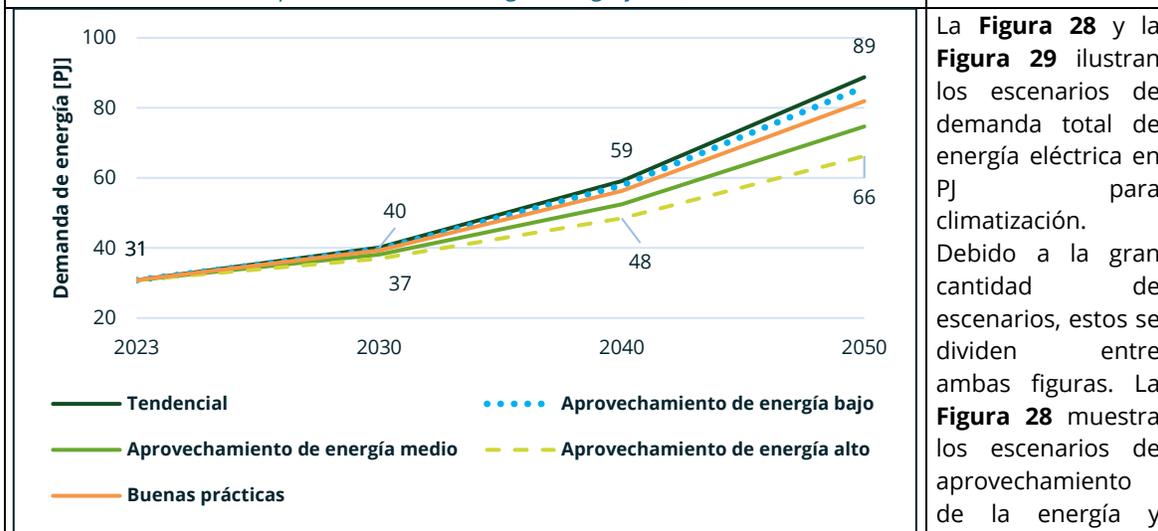
<p><i>Figura 26. Escenarios de demanda total de energía eléctrica nacional de climatización y sus posibles ahorros energéticos (gráfica 1)</i></p>	<p><i>Descripción:</i></p>																														
<table border="1"> <caption>Data for Figure 26: National electricity demand (GWh)</caption> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>Tendencial</th> <th>Aprovechamiento de energía medio</th> <th>Buenas prácticas</th> <th>Aprovechamiento de energía bajo</th> <th>Aprovechamiento de energía alto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2023</td> <td>8563</td> <td>8563</td> <td>8563</td> <td>8563</td> <td>8563</td> </tr> <tr> <td>2030</td> <td>11135</td> <td>10255</td> <td>11135</td> <td>11135</td> <td>10255</td> </tr> <tr> <td>2040</td> <td>16429</td> <td>13466</td> <td>16429</td> <td>16429</td> <td>13466</td> </tr> <tr> <td>2050</td> <td>24657</td> <td>18400</td> <td>24657</td> <td>24657</td> <td>18400</td> </tr> </tbody> </table>	Year	Tendencial	Aprovechamiento de energía medio	Buenas prácticas	Aprovechamiento de energía bajo	Aprovechamiento de energía alto	2023	8563	8563	8563	8563	8563	2030	11135	10255	11135	11135	10255	2040	16429	13466	16429	16429	13466	2050	24657	18400	24657	24657	18400	<p>La Figura 26 y la Figura 27 ilustran los escenarios de demanda total de energía eléctrica para climatización. Debido a la gran cantidad de escenarios, estos se dividen entre ambas figuras. La Figura 26 muestra los escenarios de aprovechamiento de la energía y buenas prácticas, mientras que la Figura 27 incluye</p>
Year	Tendencial	Aprovechamiento de energía medio	Buenas prácticas	Aprovechamiento de energía bajo	Aprovechamiento de energía alto																										
2023	8563	8563	8563	8563	8563																										
2030	11135	10255	11135	11135	10255																										
2040	16429	13466	16429	16429	13466																										
2050	24657	18400	24657	24657	18400																										
<p><i>Figura 27. Escenarios de demanda total de energía eléctrica Nacional de climatización y sus posibles ahorros (gráfica 2)</i></p>																															



los escenarios de cambio tecnológico y digitalización. Donde, el escenario de mayor impacto es *aprovechamiento de energía alto*, el cual representaría una disminución del 25% en la demanda de energía con respecto al escenario tendencial en el 2050.

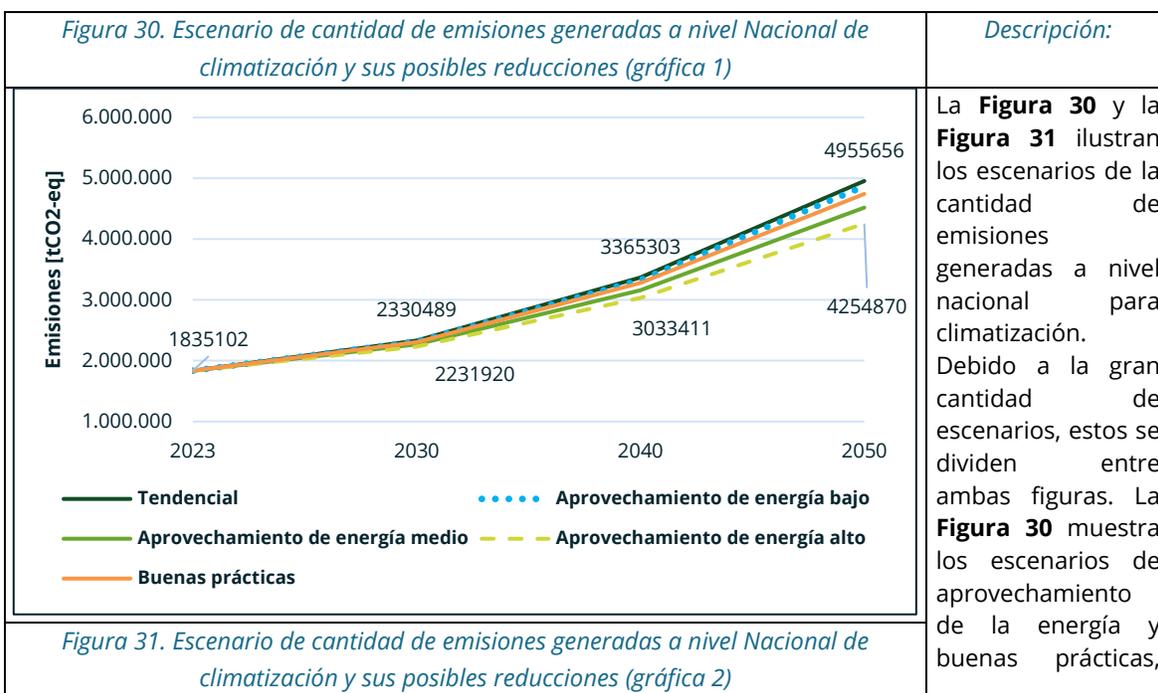
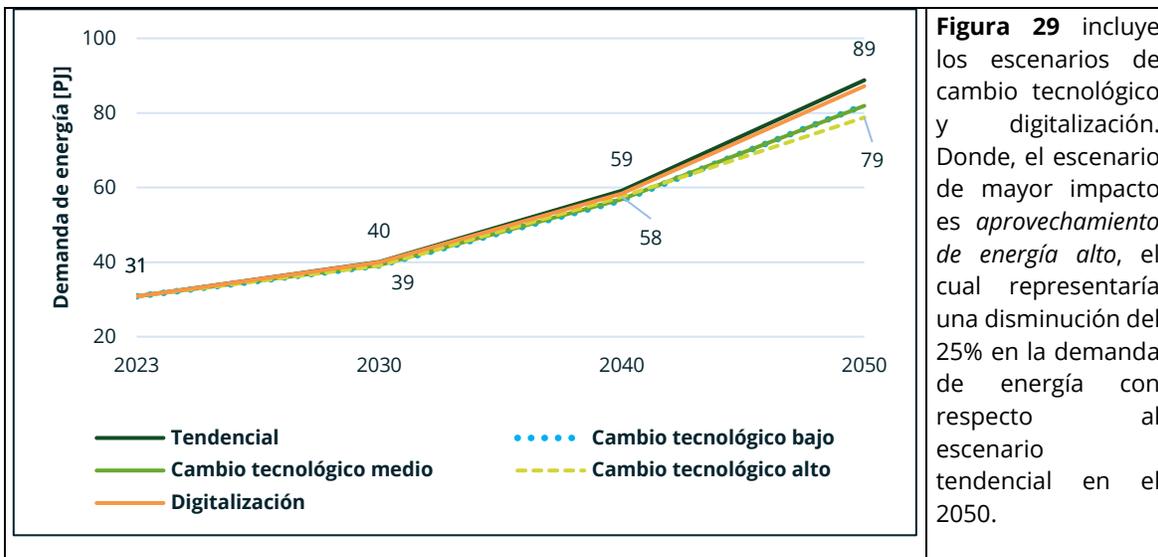
Figura 28. Escenario de demanda total de energía (PJ) Nacional de climatización y sus posibles ahorros energéticos (gráfica 1)

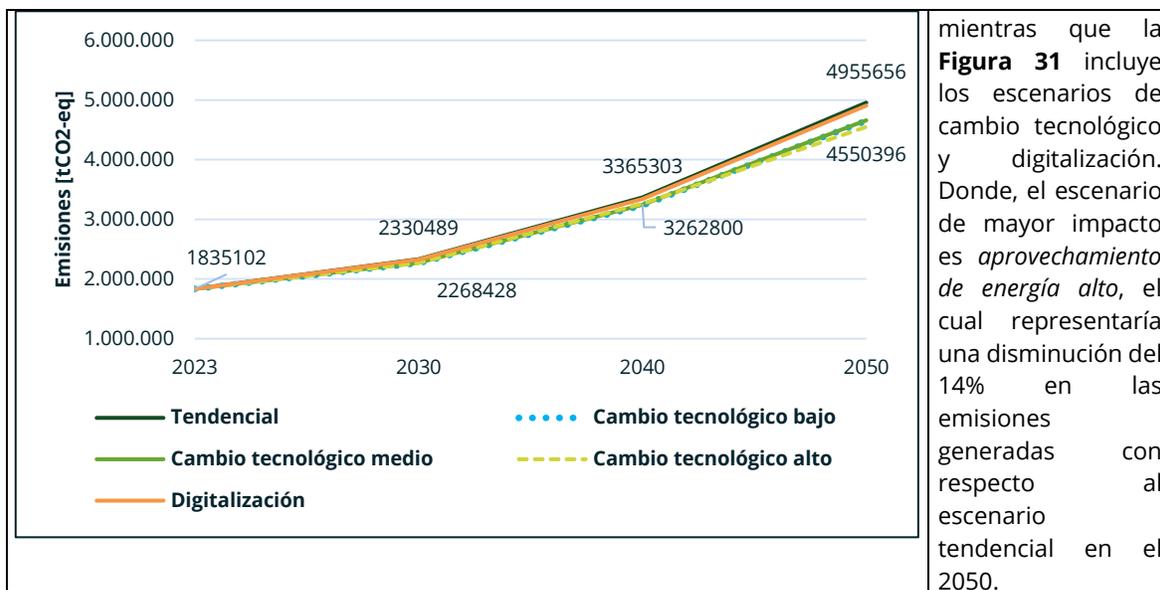
Descripción:



La **Figura 28** y la **Figura 29** ilustran los escenarios de demanda total de energía eléctrica en PJ para climatización. Debido a la gran cantidad de escenarios, estos se dividen entre ambas figuras. La **Figura 28** muestra los escenarios de aprovechamiento de la energía y buenas prácticas, mientras que la

Figura 29. Escenario de demanda total de energía (PJ) Nacional de climatización y sus posibles ahorros energéticos (gráfica 2)





mientras que la **Figura 31** incluye los escenarios de cambio tecnológico y digitalización. Donde, el escenario de mayor impacto es *aprovechamiento de energía alto*, el cual representaría una disminución del 14% en las emisiones generadas con respecto al escenario tendencial en el 2050.

La demanda de energía eléctrica muestra un escenario favorable en el caso de un alto aprovechamiento de la energía, lo que evidencia que las medidas pasivas ofrecen un mayor beneficio en la reducción del consumo, frente a las medidas activas. Este impacto es significativo tanto en el sector residencial como en el terciario. No obstante, el sector terciario destaca particularmente, ya que representa el 70% de la demanda de energía para climatización. Este mismo fenómeno se extiende a la generación de emisiones, donde la implementación de estas medidas podría reducir hasta un 14% las emisiones proyectadas en un escenario tendencial.

8. Análisis sectoriales

8.1. Climatización

8.1.1. Sector Terciario

En cuanto al sector terciario, se seleccionaron los CIUU correspondientes, previamente definidos en (Corporación EMA, 2022), donde se relacionan las actividades económicas clasificadas por sección y división CIUU. En la **Tabla 22**, se encuentran consignadas las actividades económicas, teniendo en cuenta que es necesario un confort en las edificaciones donde se ofrecen servicios.

Tabla 22. Clasificación de actividades económicas, adaptada para Colombia CIUU revisión 4.

Sección CIUU	Agrupación	División	Descripción
Comercio al por Mayor y al por Menor; Reparación de Vehículos y Motocicletas	G	45	Comercio, mantenimiento y reparación de vehículos automotores y motocicletas, sus partes, piezas y accesorios
	J	58	Actividades de edición

Información y Comunicaciones		59	Actividades cinematográficas, de vídeo y producción de programas de televisión, grabación de sonido y edición de música.
		60	Actividades de programación, transmisión y/o difusión
		61	Telecomunicaciones
		62	Desarrollo de sistemas informáticos (planificación, análisis, diseño, programación, pruebas), consultoría informática y actividades relacionadas
		63	Actividades de servicios de información
Actividades Financieras y Seguros	K	64	Actividades de servicios financieros, excepto las de seguros y de pensiones
		65	Seguros (incluso el reaseguro), seguros sociales y fondos de pensiones, excepto la seguridad social
		66	Actividades auxiliares de las actividades de servicios financieros
Actividades Inmobiliarias	L	68	Actividades Inmobiliarias
Servicios profesionales, científicos y técnicos	M	70	Actividades de administración empresarial; actividades de consultoría de gestión
		71	Actividades de arquitectura e ingeniería; ensayos y análisis técnicos
		72	Investigación científica y desarrollo
		73	Publicidad y estudios de mercado
		74	Otras actividades profesionales, científicas y técnicas
Actividades de servicios administración y apoyo	N	77	Actividades de alquiler y arrendamiento
		79	Actividades de las agencias de viajes, operadores turísticos, servicios de reserva y actividades relacionadas
		80	Actividades de seguridad e investigación privada
		81	Actividades de servicios a edificio y paisajismo
		82	Actividades administrativas y de apoyo de oficina y otras actividades de apoyo a las empresas
Actividades de Atención de la Salud Humana y Asistencia Social	Q	86	Actividades de atención de la salud humana
		87	Actividades de atención residencial medicalizada
		88	Actividades de asistencia social sin alojamiento
Actividades artísticas, de entretenimiento y recreación	R	90	Actividades creativas, artísticas y de entretenimiento
		91	Actividades de bibliotecas, archivos, museos y otras actividades culturales
		92	Actividades de juegos de azar y apuestas
		93	Actividades deportivas y actividades recreativas y de esparcimiento
Otras actividades de servicios personales	S	94	Actividades de asociaciones
		96	Otras actividades de servicios personales

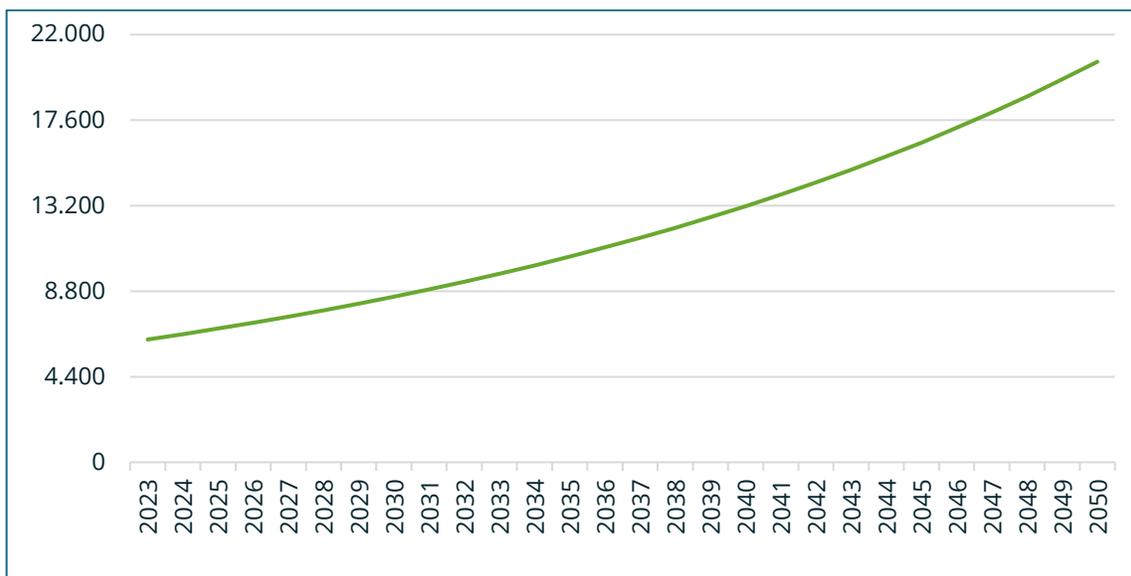
Fuente: Adaptado de (Corporación EMA, 2022)

8.1.1.1. Estado actual

Para una visión general del sector terciario, en la **Figura 32** se muestra el consumo de energía eléctrica del sector teniendo en cuenta las proyecciones para el escenario tendencial, así como también el diagnóstico del sector actual basadas en la metodología desarrollada en el anexo

“Volumen II Metodología para el diagnóstico Nacional”. A partir de ello, se puede evidenciar el consumo del sector en un valor de 6.315 GWh/año para el año 2023, con un crecimiento del 208% para el año 2040, y del 326% para el año 2050 comparado con el año 2023 respectivamente, producto del constante y exponencial crecimiento previsto económico y por ende energético del sector terciario.

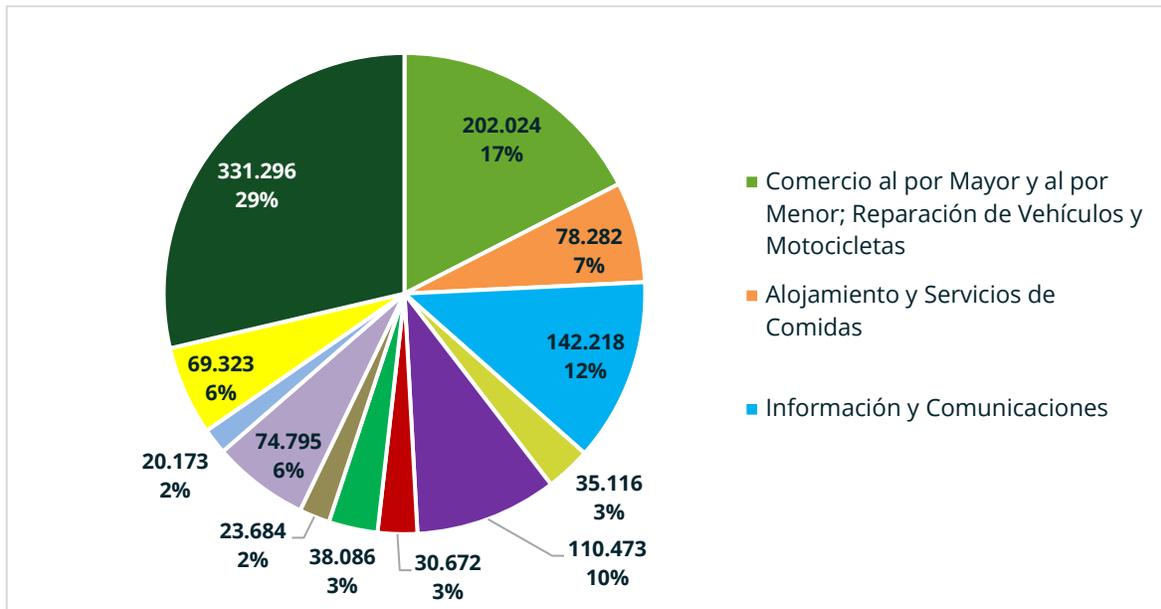
Figura 32. Demanda de energía eléctrica general de climatización del sector terciario



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en la **Figura 33** se observa en porcentaje, la distribución de emisiones generadas por cada subsector del sector terciario en tCO₂-eq para el año 2023. Respecto a esta información, se puede destacar que aproximadamente, el 70% de las emisiones generadas en el año 2023, fueron generadas únicamente por 4 subsectores; comercio al por mayor y menor, reparación de vehículos y motocicletas, administración pública y defensa, información y comunicaciones y actividades inmobiliarias. De estos, 4 subsectores, el sector más influyente en el año 2023 con mayor cantidad de emisiones generó 331.296 tCO₂-eq al 29% del total del sector terciario.

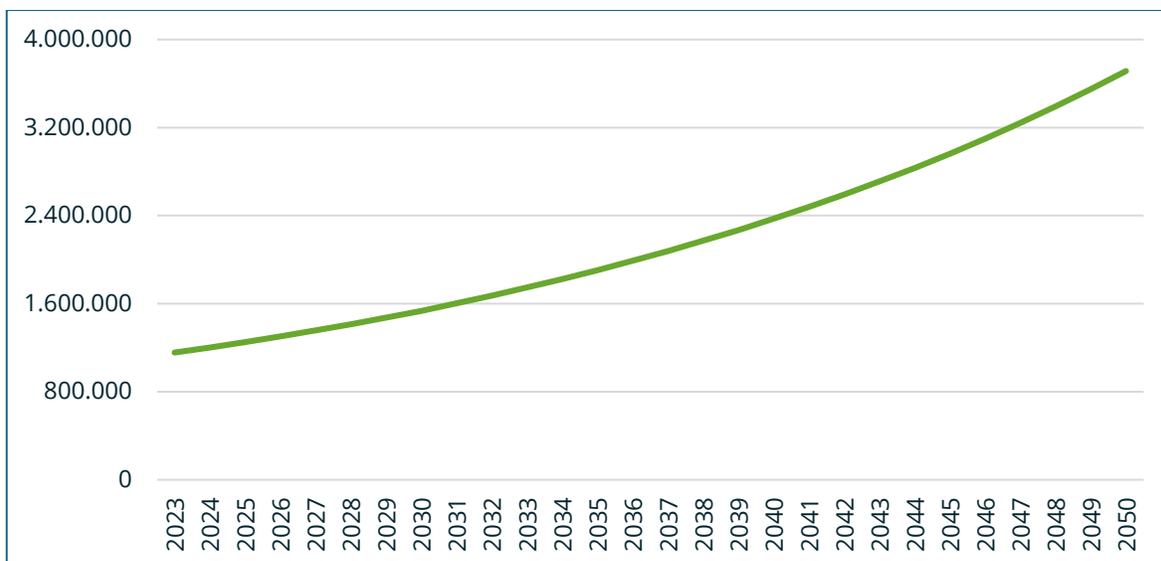
Figura 33. Porcentaje de distribución de emisiones totales emitidas por subsector en el sector terciario a 2023 en climatización



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en cuanto al total de las emisiones generadas en el escenario tendencial basado en la tasa de crecimiento prevista en la metodología desarrollada, se prevé un crecimiento del 33% para el año 2030, y un crecimiento del 321% comparado con el 2023 respectivamente.

Figura 34. Emisiones totales generadas del sector terciario en climatización



Fuente: Elaboración propia

8.1.1.2. Estrategias y/o tecnologías identificadas

Las estrategias y/o tecnologías identificadas en el sector terciario, fueron segregadas únicamente contemplando la totalidad del sector terciario, debido a que las tecnologías existentes dentro de este no varían de manera significativa según la sección. Teniendo en cuenta lo anterior, se presenta a continuación el listado de estrategias identificadas para el sector terciario abarcando todas las secciones que lo compone entendiendo que la medida se aplica según la tecnología disponible en cada sección.

Tabla 23. Listado de estrategias identificadas para el sector terciario

Estrategias	Escenario	Equipo	Mejora energética	Porcentaje de penetración de la estrategia		
				2030	2040	2050
Película de baja emisividad aplicada directamente en el lado interior de las ventanas o en el marco exterior de la ventana para permitir o evitar ganancias de calor.	Aprovechamiento de energía bajo	Minisplit, split, chiller, central, pared/ventana	5%	20%	50%	70%
Película de baja emisividad aplicada directamente en el lado interior de las ventanas o en el marco exterior de la ventana para permitir o evitar ganancias de calor; pinturas atérmicas; materiales térmicos y diseño con Masa Térmica.	Aprovechamiento de energía medio	Minisplit, split, chiller, central, pared/ventana	25%	20%	50%	70%
Película de baja emisividad aplicada directamente en el lado interior de las ventanas o en el marco exterior de la ventana para permitir o evitar ganancias de calor; pinturas atérmicas; materiales térmicos y diseño con Masa Térmica; aislamiento en muros y techos; cubiertas Frías (Cool Roofs) Ventilación Natural y Ventilación Cruzada.	Aprovechamiento de energía alto	Minisplit, split, chiller, central, pared/ventana	40%	20%	50%	70%
Chillers con bajo GWP (<100 GWP) propano; sistema con válvula de expansión electrónica.	Cambio tecnológico bajo	Chiller	20%	20%	30%	60%
Chillers con bajo GWP (<100 GWP) propano; sistema con válvula de expansión electrónica + Compresor con variador; equipo de AC eficiente etiqueta A.	Cambio tecnológico medio	Chiller	30%	15%	25%	50%
		Minisplit	24%	15%	25%	50%
Chillers con bajo GWP (<100 GWP) propano; sistema con válvula de expansión electrónica ventiladores y condensador con variador; equipo de AC eficiente etiqueta A; sistemas centralizados (Distritos térmicos).	Cambio tecnológico alto	Chillers	40%	10%	10%	40%
		Minisplit	24%	10%	10%	40%
		Central y split	30%	10%	10%	40%
Digitalización y control de sistemas.	Digitalización	Chillers	8%	10%	30%	50%
Mantenimiento adecuado, buena operación con ambientes herméticos y óptimo seteo de la temperatura.	Buenas prácticas	Minisplit, split, chiller, central, pared/ventana	10%	20%	50%	80%

Fuente: Elaboración propia

8.1.1.3. Escenarios contemplados

<p><i>Figura 35. Escenario de demanda total de energía eléctrica del sector terciario y sus posibles ahorros energéticos (gráficos 1)</i></p>	<p><i>Descripción:</i></p>																									
<table border="1"> <caption>Data for Figura 35: Escenario de demanda total de energía eléctrica del sector terciario y sus posibles ahorros energéticos (gráficos 1)</caption> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Tendencial</th> <th>Buenas prácticas</th> <th>Aprovechamiento de energía medio</th> <th>Aprovechamiento de energía bajo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2023</td> <td>6315</td> <td>6315</td> <td>6315</td> <td>6315</td> </tr> <tr> <td>2030</td> <td>8516</td> <td>8516</td> <td>7880</td> <td>8516</td> </tr> <tr> <td>2040</td> <td>13170</td> <td>13170</td> <td>10713</td> <td>13170</td> </tr> <tr> <td>2050</td> <td>20602</td> <td>20602</td> <td>15225</td> <td>20602</td> </tr> </tbody> </table>	Año	Tendencial	Buenas prácticas	Aprovechamiento de energía medio	Aprovechamiento de energía bajo	2023	6315	6315	6315	6315	2030	8516	8516	7880	8516	2040	13170	13170	10713	13170	2050	20602	20602	15225	20602	<p>La Figura 35 y la Figura 36 ilustran los escenarios de demanda total de energía eléctrica para el sector terciario de climatización. Debido a la gran cantidad de escenarios, estos se dividen entre ambas figuras. Figura 35 muestra los escenarios de aprovechamiento de la energía y buenas prácticas, mientras que la Figura 36 incluye los escenarios de cambio tecnológico y digitalización. Donde, el escenario de mayor impacto es <i>aprovechamiento de energía alto</i>, el cual representaría una disminución del 26% en la demanda de energía con respecto al escenario tendencial en el 2050.</p>
Año	Tendencial	Buenas prácticas	Aprovechamiento de energía medio	Aprovechamiento de energía bajo																						
2023	6315	6315	6315	6315																						
2030	8516	8516	7880	8516																						
2040	13170	13170	10713	13170																						
2050	20602	20602	15225	20602																						
<p><i>Figura 36. Escenario de demanda total de energía eléctrica del sector terciario y sus posibles ahorros energéticos (gráficos 2)</i></p>																										
<table border="1"> <caption>Data for Figura 36: Escenario de demanda total de energía eléctrica del sector terciario y sus posibles ahorros energéticos (gráficos 2)</caption> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Tendencial</th> <th>Digitalización</th> <th>Cambio tecnológico medio</th> <th>Cambio tecnológico alto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2023</td> <td>6315</td> <td>6315</td> <td>6315</td> <td>6315</td> </tr> <tr> <td>2030</td> <td>8516</td> <td>8516</td> <td>8233</td> <td>8516</td> </tr> <tr> <td>2040</td> <td>13170</td> <td>13170</td> <td>12733</td> <td>13170</td> </tr> <tr> <td>2050</td> <td>20602</td> <td>20602</td> <td>17867</td> <td>20602</td> </tr> </tbody> </table>	Año	Tendencial	Digitalización	Cambio tecnológico medio	Cambio tecnológico alto	2023	6315	6315	6315	6315	2030	8516	8516	8233	8516	2040	13170	13170	12733	13170	2050	20602	20602	17867	20602	
Año	Tendencial	Digitalización	Cambio tecnológico medio	Cambio tecnológico alto																						
2023	6315	6315	6315	6315																						
2030	8516	8516	8233	8516																						
2040	13170	13170	12733	13170																						
2050	20602	20602	17867	20602																						

Fuente: Elaboración propia

<p><i>Figura 37. Escenario de demanda total de energía (PJ) del sector terciario y sus posibles ahorros energéticos (gráficos 1)</i></p>	<p><i>Descripción:</i></p>																														
<table border="1"> <caption>Data for Figura 37</caption> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Tendencial</th> <th>Aprovechamiento de energía bajo</th> <th>Aprovechamiento de energía medio</th> <th>Aprovechamiento de energía alto</th> <th>Buenas prácticas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2023</td> <td>23</td> <td>23</td> <td>23</td> <td>23</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>2030</td> <td>31</td> <td>31</td> <td>28</td> <td>28</td> <td>28</td> </tr> <tr> <td>2040</td> <td>47</td> <td>47</td> <td>39</td> <td>39</td> <td>39</td> </tr> <tr> <td>2050</td> <td>74</td> <td>74</td> <td>55</td> <td>55</td> <td>55</td> </tr> </tbody> </table>	Año	Tendencial	Aprovechamiento de energía bajo	Aprovechamiento de energía medio	Aprovechamiento de energía alto	Buenas prácticas	2023	23	23	23	23	23	2030	31	31	28	28	28	2040	47	47	39	39	39	2050	74	74	55	55	55	<p>La Figura 37 y la Figura 38 ilustran los escenarios de demanda total de energía eléctrica en PJ para el sector terciario de climatización. Debido a la gran cantidad de escenarios, estos se dividen entre ambas figuras. La Figura 37 muestra los escenarios de aprovechamiento de la energía y buenas prácticas, mientras que la Figura 38 incluye los escenarios de cambio tecnológico y digitalización. Donde, el escenario de mayor impacto es <i>aprovechamiento de energía alto</i>, el cual representaría una disminución del 26% en la demanda de energía con respecto al escenario tendencial en el 2050.</p>
Año	Tendencial	Aprovechamiento de energía bajo	Aprovechamiento de energía medio	Aprovechamiento de energía alto	Buenas prácticas																										
2023	23	23	23	23	23																										
2030	31	31	28	28	28																										
2040	47	47	39	39	39																										
2050	74	74	55	55	55																										
<p><i>Figura 38. Escenario de demanda total de energía (PJ) del sector terciario y sus posibles ahorros energéticos (gráficos 2)</i></p> <table border="1"> <caption>Data for Figura 38</caption> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Tendencial</th> <th>Cambio tecnológico bajo</th> <th>Cambio tecnológico medio</th> <th>Cambio tecnológico alto</th> <th>Digitalización</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2023</td> <td>23</td> <td>23</td> <td>23</td> <td>23</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>2030</td> <td>31</td> <td>31</td> <td>30</td> <td>30</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>2040</td> <td>47</td> <td>47</td> <td>46</td> <td>46</td> <td>46</td> </tr> <tr> <td>2050</td> <td>74</td> <td>64</td> <td>64</td> <td>64</td> <td>64</td> </tr> </tbody> </table>	Año	Tendencial	Cambio tecnológico bajo	Cambio tecnológico medio	Cambio tecnológico alto	Digitalización	2023	23	23	23	23	23	2030	31	31	30	30	30	2040	47	47	46	46	46	2050	74	64	64	64	64	
Año	Tendencial	Cambio tecnológico bajo	Cambio tecnológico medio	Cambio tecnológico alto	Digitalización																										
2023	23	23	23	23	23																										
2030	31	31	30	30	30																										
2040	47	47	46	46	46																										
2050	74	64	64	64	64																										

Fuente: Elaboración propia

<p><i>Figura 39. Escenario de cantidad de emisiones generadas del sector terciario y sus posibles reducciones (gráficos 1)</i></p>	<p><i>Descripción:</i></p>																														
<table border="1"> <caption>Data for Figura 39</caption> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Tendencial</th> <th>Buenas prácticas</th> <th>Aprovechamiento de energía medio</th> <th>Aprovechamiento de energía bajo</th> <th>Aprovechamiento de energía alto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2023</td> <td>1167851</td> <td>1167851</td> <td>1167851</td> <td>1167851</td> <td>1167851</td> </tr> <tr> <td>2030</td> <td>1550574</td> <td>1550574</td> <td>1550574</td> <td>1550574</td> <td>1479307</td> </tr> <tr> <td>2040</td> <td>2394836</td> <td>2394836</td> <td>2394836</td> <td>2394836</td> <td>2119566</td> </tr> <tr> <td>2050</td> <td>3748078</td> <td>3748078</td> <td>3748078</td> <td>3748078</td> <td>3145932</td> </tr> </tbody> </table>	Año	Tendencial	Buenas prácticas	Aprovechamiento de energía medio	Aprovechamiento de energía bajo	Aprovechamiento de energía alto	2023	1167851	1167851	1167851	1167851	1167851	2030	1550574	1550574	1550574	1550574	1479307	2040	2394836	2394836	2394836	2394836	2119566	2050	3748078	3748078	3748078	3748078	3145932	<p>La Figura 39 y la Figura 40 ilustran los escenarios de la cantidad de emisiones generadas a nivel nacional para el sector terciario de climatización. Debido a la gran cantidad de escenarios, estos se dividen entre ambas figuras. La Figura 39 muestra los escenarios de aprovechamiento de la energía y buenas prácticas, mientras que la Figura 40 incluye los escenarios de cambio tecnológico y digitalización. Donde, el escenario de mayor impacto es <i>aprovechamiento de energía alto</i>, el cual representaría una disminución del 16% en las emisiones generadas con respecto al escenario tendencial en el 2050.</p>
Año	Tendencial	Buenas prácticas	Aprovechamiento de energía medio	Aprovechamiento de energía bajo	Aprovechamiento de energía alto																										
2023	1167851	1167851	1167851	1167851	1167851																										
2030	1550574	1550574	1550574	1550574	1479307																										
2040	2394836	2394836	2394836	2394836	2119566																										
2050	3748078	3748078	3748078	3748078	3145932																										
<table border="1"> <caption>Data for Figura 40</caption> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Tendencial</th> <th>Digitalización</th> <th>Cambio tecnológico medio</th> <th>Cambio tecnológico bajo</th> <th>Cambio tecnológico alto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2023</td> <td>1167851</td> <td>1167851</td> <td>1167851</td> <td>1167851</td> <td>1167851</td> </tr> <tr> <td>2030</td> <td>1550574</td> <td>1550574</td> <td>1550574</td> <td>1550574</td> <td>1489063</td> </tr> <tr> <td>2040</td> <td>2394836</td> <td>2394836</td> <td>2394836</td> <td>2394836</td> <td>2294387</td> </tr> <tr> <td>2050</td> <td>3748078</td> <td>3748078</td> <td>3748078</td> <td>3748078</td> <td>3347078</td> </tr> </tbody> </table>	Año	Tendencial	Digitalización	Cambio tecnológico medio	Cambio tecnológico bajo	Cambio tecnológico alto	2023	1167851	1167851	1167851	1167851	1167851	2030	1550574	1550574	1550574	1550574	1489063	2040	2394836	2394836	2394836	2394836	2294387	2050	3748078	3748078	3748078	3748078	3347078	
Año	Tendencial	Digitalización	Cambio tecnológico medio	Cambio tecnológico bajo	Cambio tecnológico alto																										
2023	1167851	1167851	1167851	1167851	1167851																										
2030	1550574	1550574	1550574	1550574	1489063																										
2040	2394836	2394836	2394836	2394836	2294387																										
2050	3748078	3748078	3748078	3748078	3347078																										

Tanto en la demanda de energía como en la generación de emisiones, el escenario con la mayor reducción respecto a los valores tendenciales es el de aprovechamiento de la energía, manteniéndose esta tendencia para los años 2030, 2040 y 2050. Esto es relevante, ya que, aunque los escenarios de medidas activas (cambio tecnológico y la digitalización) también contribuyen a la reducción, estos efectos están estrechamente ligados a la implementación de medidas pasivas de aprovechamiento de la energía.

8.1.1.4. Análisis B/C de las estrategias y/o tecnologías

Tabla 24. Evaluación costo beneficio de las estrategias y/o tecnología del sector terciario

Nombres	Subsector	Tipología	Medida	Comportamiento Energético (PJ-año)	Comportamiento Energético (TR-año)	Emisiones Evitadas (TonCo2)	Usuario		Sistema		Sociedad		B/C total
							B/C usuario	B/C sistema	B/C social	B/C social			
Bombas de calor R290	Terciario	Climatización	Activa	49	3.866.556.714	2.393.269	0,22	4,85	1,3				0,4
Sistemas VRF o VRV	Terciario	Climatización	Activa	102	8.026.520.969	4.968.147	0,59	4,85	0,3				1,6
Actualización de los sistemas de ventilación	Terciario	Climatización	Activa	102	8.026.520.969	4.968.147	0,17	4,85	0,8				0,5
Mantenimiento adecuado, buena operación con ambientes hermeticos y óptimo seteo de la temperatura	Terciario	Climatización	Activa	58	4.586.583.411	2.838.941	0,79	4,85	0,1				1,9
Recuperación de calor	Terciario	Climatización	Activa	17	1.375.975.023	851.682	0,33	4,85	0,6				0,8
Compresor con variador	Terciario	Climatización	Activa	109	8.599.843.895	5.323.014	0,59	4,85	0,3				1,4
Equipo de AC eficiente etiqueta A	Terciario	Climatización	Activa	406	32.106.083.874	19.872.587	0,29	4,85	0,5				0,7
Ventiladores y condensador con variador	Terciario	Climatización	Activa	54	4.299.921.947	2.661.507	0,37	4,85	1,2				0,8
Enfriamiento evaporativo indirecto y directo	Terciario	Climatización	Activa	91	7.166.536.579	4.435.845	0,27	4,85	1,2				0,6
Chillers con bajo GWP (<100GWP)	Terciario	Climatización	Activa	90	7.080.538.140	4.382.615	0,09	4,85	1,2				0,2
Solar + almacenamiento frío	Terciario	Climatización	Activa	142	11.237.129.356	6.955.405	0,14	4,85	0,9				0,4
Sistemas centralizados (Distritos térmicos)	Terciario	Climatización	Activa	36	2.866.614.632	1.774.338	0,20	2,29	1,3				0,3
Digitalización y control de sistemas	Terciario	Climatización	Activa	52	4.127.925.070	2.555.047	0,08	4,85	1,2				0,2
Sistemas con componentes de alta eficiencia, paquete de compresor y condensador eficiente	Terciario	Climatización	Activa	13.066	1.031.981.267.392	638.761.726	0,17	4,85	0,8				0,5

Fuente: Elaboración propia

8.1.2. Sector Residencial

8.1.2.1. Estado actual

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 y el inventario anteriormente calculado. Para más detalle dirigirse a la **sección 3.1** del **volumen 2**.

Demanda satisfecha

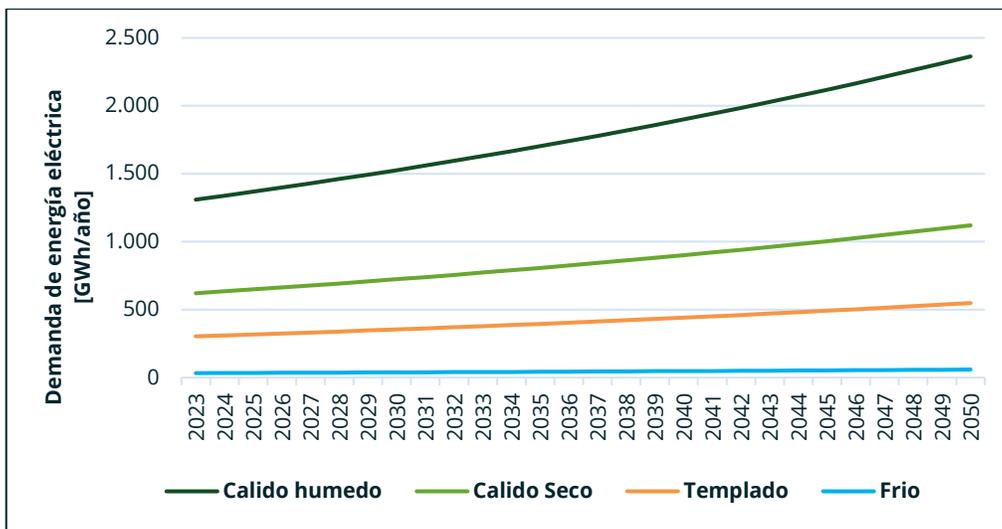
En la **Figura 41** se presenta la demanda de energía eléctrica consumida debido al uso de AC en el sector residencial. Esta fue proyectada con una tasa de crecimiento anual de 2,2 % al 2050. De ello se obtuvo que a 2030 y 2050 respectivamente, se espera un consumo de energía eléctrica anual en el piso 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 25. 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

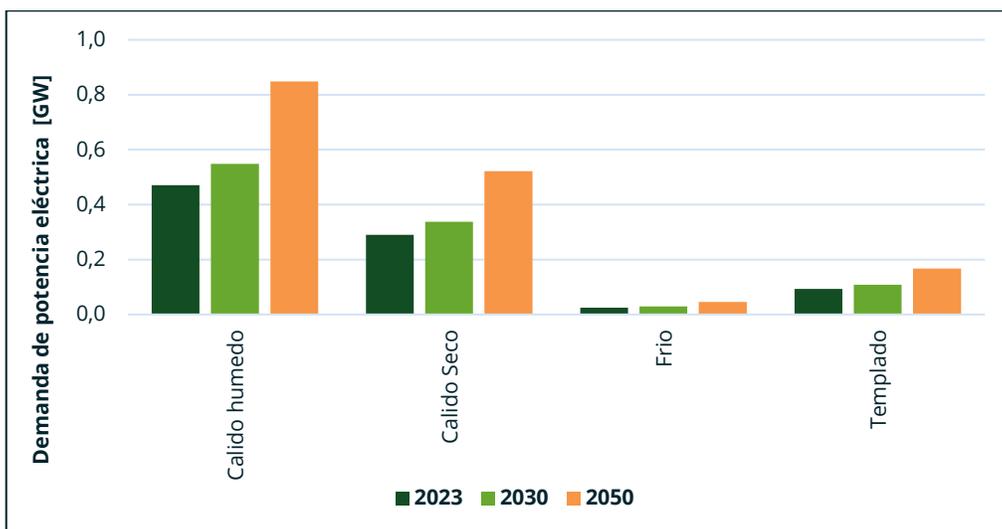
Figura 41. Demanda de energía eléctrica satisfecha proyectada a 2050 por piso térmico en el sector residencial



Fuente: Elaboración propia

La **Figura 42** 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, y se espera que, en el año 2030, esté aproximadamente una potencia instalada de 1 GW y en el 2050, 1,58 GW.

Figura 42. Demanda de potencia eléctrica satisfecha 2023, y proyectada a 2030 y 2050 por piso térmico en el sector residencial



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 pérdida 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

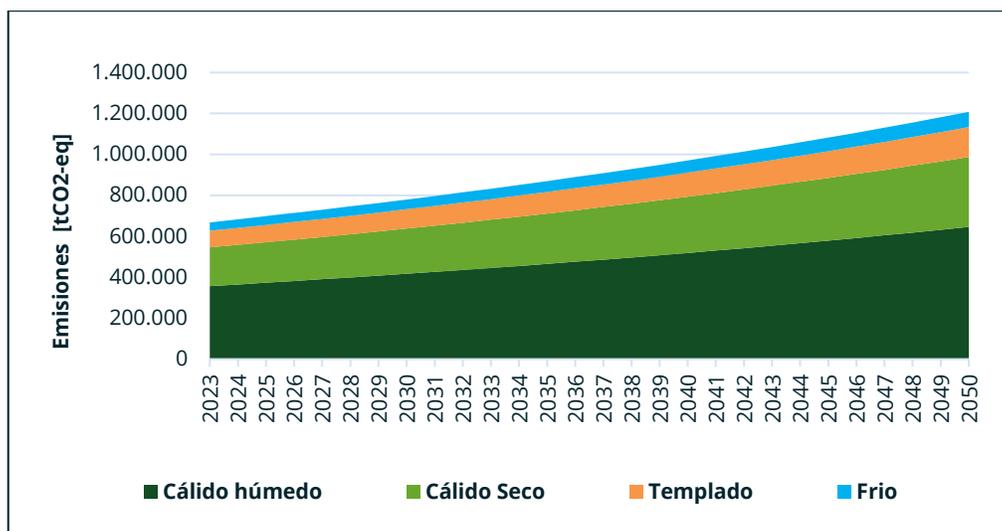
La **Tabla 26** presenta las emisiones directas por operación, directas por disposición, indirectas y totales para el 2023 dado los equipos usados en el sector. Estas fueron proyectadas a 2050 con una tasa de crecimiento del 2,2%. En la **Figura 43** se puede observar la proyección, donde se estima que a 2030 se emiten 779.609 tCO₂-eq de GEI y a 2050 1.206.010 tCO₂-eq.

Tabla 26. 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 43. Proyección satisfecha de emisiones equivalentes de CO₂ 2023 por piso térmico en el sector residencial



Fuente: Elaboración propia

8.1.2.2. Estrategias y/o tecnologías identificadas

Las estrategias y/o tecnologías identificadas en el sector residencial se presenta a continuación en un listado de estrategias identificadas para el sector residencial abarcando todas las secciones que lo compone entendiendo que la medida se aplica según la tecnología disponible en cada sección.

Tabla 27. Listado de estrategias identificadas para el sector residencial

Estrategias	Escenario	Equipo	Mejora energética	Porcentaje de penetración de la estrategia		
				2030	2040	2050
Mantenimiento adecuado, buena operación con ambientes herméticos y óptimo seteo de la temperatura.	Buenas prácticas	Minisplit	10%	20%	50%	80%
Película de baja emisividad aplicada directamente en el lado interior de las ventanas o en el marco exterior de la ventana para permitir o evitar ganancias de calor.	Aprovechamiento de energía bajo	Minisplit	5%	30%	50%	70%
Película de baja emisividad aplicada directamente en el lado interior de las ventanas o en el marco exterior de la ventana para permitir o evitar ganancias de calor; pinturas atérmicas; protección solar y sombras.	Aprovechamiento de energía medio	Minisplit	25%	30%	50%	70%
Película de baja emisividad aplicada directamente en el lado interior de las ventanas o en el marco exterior de la ventana para permitir o evitar ganancias de calor; pinturas atérmicas; protección solar y sombras estratégicas; materiales térmicos y diseño con masa térmica; aislamiento en muros y techos, vidrios de baja emisividad (Low-E) y vidrio doble.	Aprovechamiento de energía alto	Minisplit	40%	30%	50%	70%
Equipo de AC eficiente etiqueta A.	Cambio tecnológico bajo	Minisplit	24%	20%	50%	80%
Solar; almacenamiento frío.	Cambio tecnológico medio	Minisplit	80%	0.2%	0.6%	1.0%
Sistemas centralizados (distritos térmicos).	Cambio tecnológico alto	Minisplit	30%	0.8%	2.4%	4.0%

Fuente: Elaboración propia

8.1.2.3. Escenarios contemplados

<p>Figura 44. Escenario de demanda total de energía eléctrica del sector residencial y sus posibles ahorros energéticos (gráficos 1)</p>	<p>Descripción:</p>																														
<table border="1"> <caption>Data for Figura 44: Demand scenarios (GWh)</caption> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>Tendencial</th> <th>Aprovechamiento de energía medio</th> <th>Buenas prácticas</th> <th>Aprovechamiento de energía bajo</th> <th>Aprovechamiento de energía alto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2023</td> <td>2247</td> <td>2247</td> <td>2247</td> <td>2247</td> <td>2247</td> </tr> <tr> <td>2030</td> <td>2619</td> <td>2375</td> <td>2619</td> <td>2619</td> <td>2375</td> </tr> <tr> <td>2040</td> <td>3259</td> <td>2753</td> <td>3259</td> <td>3259</td> <td>2753</td> </tr> <tr> <td>2050</td> <td>4055</td> <td>3174</td> <td>4055</td> <td>4055</td> <td>3174</td> </tr> </tbody> </table>	Year	Tendencial	Aprovechamiento de energía medio	Buenas prácticas	Aprovechamiento de energía bajo	Aprovechamiento de energía alto	2023	2247	2247	2247	2247	2247	2030	2619	2375	2619	2619	2375	2040	3259	2753	3259	3259	2753	2050	4055	3174	4055	4055	3174	<p>La Figura 44 y la Figura 45 ilustran los escenarios de demanda total de energía eléctrica para para el sector residencial de climatización. Debido a la gran cantidad de escenarios, estos se dividen entre ambas figuras. La Figura 44 muestra los escenarios de aprovechamiento de la energía y buenas prácticas, mientras que la Figura 45 incluye los escenarios de cambio tecnológico y digitalización. Donde, el escenario de mayor impacto es <i>aprovechamiento de energía alto</i>, el cual representaría una disminución del 22% en la demanda de energía con respecto al escenario tendencial en el 2050.</p>
Year	Tendencial	Aprovechamiento de energía medio	Buenas prácticas	Aprovechamiento de energía bajo	Aprovechamiento de energía alto																										
2023	2247	2247	2247	2247	2247																										
2030	2619	2375	2619	2619	2375																										
2040	3259	2753	3259	3259	2753																										
2050	4055	3174	4055	4055	3174																										
<p>Figura 45. Escenario de demanda total de energía eléctrica del sector residencial y sus posibles ahorros energéticos (gráficos 2)</p>																															
<table border="1"> <caption>Data for Figura 45: Demand scenarios (GWh)</caption> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>Tendencial</th> <th>Cambio tecnológico bajo</th> <th>Cambio tecnológico medio</th> <th>Cambio tecnológico alto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2023</td> <td>2247</td> <td>2247</td> <td>2247</td> <td>2247</td> </tr> <tr> <td>2030</td> <td>2619</td> <td>2521</td> <td>2619</td> <td>2619</td> </tr> <tr> <td>2040</td> <td>3259</td> <td>2953</td> <td>3259</td> <td>3259</td> </tr> <tr> <td>2050</td> <td>4055</td> <td>3447</td> <td>4055</td> <td>4055</td> </tr> </tbody> </table>	Year	Tendencial	Cambio tecnológico bajo	Cambio tecnológico medio	Cambio tecnológico alto	2023	2247	2247	2247	2247	2030	2619	2521	2619	2619	2040	3259	2953	3259	3259	2050	4055	3447	4055	4055						
Year	Tendencial	Cambio tecnológico bajo	Cambio tecnológico medio	Cambio tecnológico alto																											
2023	2247	2247	2247	2247																											
2030	2619	2521	2619	2619																											
2040	3259	2953	3259	3259																											
2050	4055	3447	4055	4055																											

Fuente: Elaboración propia

<p><i>Figura 46. Escenario de demanda total de energía (PJ) del sector residencial y sus posibles ahorros energéticos (gráficos 1)</i></p>	<p><i>Descripción:</i></p>
	<p>La Figura 46 y la Figura 47 ilustran los escenarios de demanda total de energía eléctrica en PJ para para el sector residencial de climatización. Debido a la gran cantidad de escenarios, estos se dividen entre ambas figuras. La Figura 46 muestra los escenarios de aprovechamiento de la energía y buenas prácticas, mientras que la Figura 47 incluye los escenarios de cambio tecnológico y digitalización. Donde, el escenario de mayor impacto es <i>aprovechamiento de energía alto</i>, el cual representaría una disminución del 22% en la demanda de energía con respecto al escenario tendencial en el 2050.</p>
<p><i>Figura 47. Escenario de demanda total de energía (PJ) del sector residencial y sus posibles ahorros energéticos (gráficos 2)</i></p>	

Fuente: Elaboración propia

<p>Figura 48. Escenario de cantidad de emisiones generadas del sector residencial y sus posibles reducciones (gráficos 1)</p>	<p>Descripción:</p>																														
<table border="1"> <caption>Data for Figure 48: Residential Emissions Scenarios</caption> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>Tendencial</th> <th>Aprovechamiento de energía bajo</th> <th>Aprovechamiento de energía medio</th> <th>Aprovechamiento de energía alto</th> <th>Buenas prácticas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2023</td> <td>667252</td> <td>667252</td> <td>667252</td> <td>667252</td> <td>667252</td> </tr> <tr> <td>2030</td> <td>779915</td> <td>752612</td> <td>779915</td> <td>779915</td> <td>779915</td> </tr> <tr> <td>2040</td> <td>970468</td> <td>913845</td> <td>970468</td> <td>970468</td> <td>970468</td> </tr> <tr> <td>2050</td> <td>1207577</td> <td>1108938</td> <td>1207577</td> <td>1207577</td> <td>1207577</td> </tr> </tbody> </table>	Year	Tendencial	Aprovechamiento de energía bajo	Aprovechamiento de energía medio	Aprovechamiento de energía alto	Buenas prácticas	2023	667252	667252	667252	667252	667252	2030	779915	752612	779915	779915	779915	2040	970468	913845	970468	970468	970468	2050	1207577	1108938	1207577	1207577	1207577	<p>La Figura 48 y la Figura 49 ilustran los escenarios de la cantidad de emisiones generadas a nivel nacional para el sector residencial de climatización. Debido a la gran cantidad de escenarios, estos se dividen entre ambas figuras. La Figura 48 muestra los escenarios de aprovechamiento de la energía y buenas prácticas, mientras que la Figura 49 incluye los escenarios de cambio tecnológico y digitalización. Donde, el escenario de mayor impacto es <i>aprovechamiento de energía alto</i>, el cual representaría una disminución del 8% en las emisiones generadas con respecto al escenario tendencial en el 2050.</p>
Year	Tendencial	Aprovechamiento de energía bajo	Aprovechamiento de energía medio	Aprovechamiento de energía alto	Buenas prácticas																										
2023	667252	667252	667252	667252	667252																										
2030	779915	752612	779915	779915	779915																										
2040	970468	913845	970468	970468	970468																										
2050	1207577	1108938	1207577	1207577	1207577																										
<table border="1"> <caption>Data for Figure 49: Residential Emissions Scenarios (Technological Change)</caption> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>Tendencial</th> <th>Cambio tecnológico bajo</th> <th>Cambio tecnológico medio</th> <th>Cambio tecnológico alto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2023</td> <td>667252</td> <td>667252</td> <td>667252</td> <td>667252</td> </tr> <tr> <td>2030</td> <td>779915</td> <td>768911</td> <td>779915</td> <td>779915</td> </tr> <tr> <td>2040</td> <td>970468</td> <td>936237</td> <td>970468</td> <td>970468</td> </tr> <tr> <td>2050</td> <td>1207577</td> <td>1139427</td> <td>1207577</td> <td>1207577</td> </tr> </tbody> </table>	Year	Tendencial	Cambio tecnológico bajo	Cambio tecnológico medio	Cambio tecnológico alto	2023	667252	667252	667252	667252	2030	779915	768911	779915	779915	2040	970468	936237	970468	970468	2050	1207577	1139427	1207577	1207577						
Year	Tendencial	Cambio tecnológico bajo	Cambio tecnológico medio	Cambio tecnológico alto																											
2023	667252	667252	667252	667252																											
2030	779915	768911	779915	779915																											
2040	970468	936237	970468	970468																											
2050	1207577	1139427	1207577	1207577																											

Fuente: Elaboración propia

Dado que el 70% de la demanda de climatización se concentra en el sector residencial, este adquiere un peso significativo en la demanda nacional. En este contexto, el escenario más destacado corresponde al de bajo aprovechamiento de energía, lo que resalta el valor de las medidas pasivas basadas en cambios arquitectónicos. Sin embargo, entre las medidas activas, el cambio tecnológico alto es el que genera mayor impacto, con una reducción del 15% en comparación con el escenario tendencial a 2050.

En términos de emisiones, esta tendencia se mantiene, otorgando mayor relevancia a las emisiones indirectas de los equipos, ya que estas pueden reducirse mediante medidas pasivas. Mientras tanto, las medidas activas contribuyen a la reducción tanto de emisiones directas como indirectas. No obstante, dado que ningún escenario de medidas activas logra la mayor reducción de emisiones, se infiere que la disminución de emisiones directas e indirectas no es tan significativa en conjunto.

8.1.2.4. Análisis B/C de las estrategias y/o tecnologías

Tabla 28. Evaluación costo beneficio de las estrategias y/o tecnología del sector residencial

Nombres	Subsector	Tipología	Medida	Comportamiento Energético (PJ-año)	Comportamiento Energético (TR-año)	Emisiones Evitadas (TonCo2)	Usuario	Sistema	Sociedad	B/C total
							B/C usuario	B/C sistema	B/C social	
Equipo AC eficiente etiqueta A	Residencial	Climatización	Activa	49	3.866.556.714	2.393.269	0,67	4,69	1,0	1,3
Actualización de los sistemas de ventilación	Residencial	Climatización	Activa	5	370.387.217	229.257	0,95	4,69	4,2	2,7
Mantenimiento adecuado, buena operación con ambientes hermeticos y óptimo seteo de la	Residencial	Climatización	Activa	22	1.775.459.715	1.098.950	1,69	4,69	1,4	3,0
Solar + almacenamiento frío	Residencial	Climatización	Activa	45	3.550.919.431	2.197.900	0,14	4,69	1,2	0,4
Sistemas centralizados (Distritos térmicos)	Residencial	Climatización	Activa	45	3.550.919.431	2.197.900	0,12	4,69	1,4	0,3

Fuente: Elaboración propia

8.2. Refrigeración

8.2.1. Cadena de frío en alimentos

En el marco de la problemática de refrigeración en Colombia, se han adoptado los lineamientos internacionales propuestos por el National Cooling Action Plan Methodology (NCAP) (UN ESCAP, 2021). Esta metodología, aplicable a nivel global, ofrece un enfoque sistemático para diagnosticar, proyectar y tomar acciones en el ámbito de la refrigeración. El análisis se centra en tres categorías demandantes principales:

- La cadena de frío en alimentos
- La cadena de frío en salud
- Procesos industriales

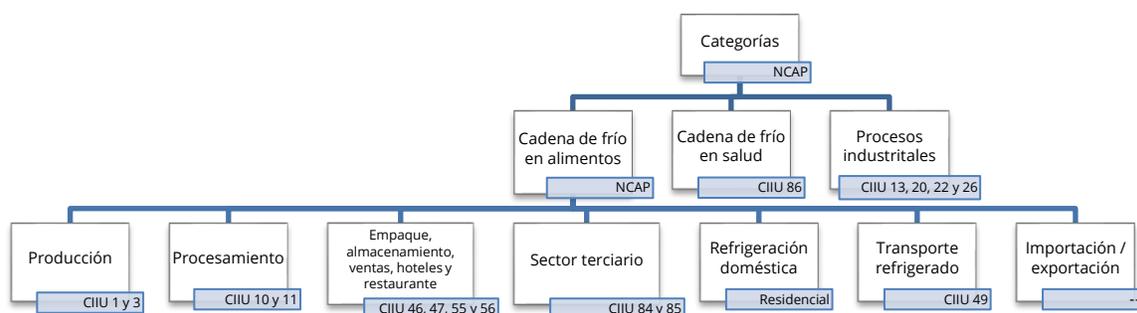
La metodología del NCAP sugiere iniciar con un mapeo del país basado en datos e información preexistente. En el caso colombiano, la información disponible se encuentra principalmente en estudios realizados para la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) y la Unidad Técnica de Ozono (UTO) para apoyar sus planes de eficiencia energética, balance energético y consumo indispensable, entre otros aspectos de su competencia.

En dichos estudios, los sectores del país analizados se encuentran segregados según las actividades económicas definidas por la Cámara de Comercio de Bogotá en la revisión 4. Estas se clasifican en producción agrícola (CIIU 1 al 3), industriales (CIIU 10 al CIIU 18), manufactureros (CIIU 19 al CIIU 31), terciarios (CIIU 45 al CIIU 96), entre otros.

En este contexto, se ha optado por priorizar la categorización establecida en el plan internacional, estableciendo una clasificación con los códigos CIU empleados en los estudios a nivel nacional. La **Figura 50** sintetiza esta discriminación, donde se puede apreciar la vinculación entre las categorías del NCAP y su correspondiente CIU.

Cabe destacar que la selección de estos códigos CIU no ha sido arbitraria, sino que responde a su significativa participación en el consumo energético asociado a procesos de refrigeración, según lo evidenciado en los estudios realizados por la UPME (Consortio Génesis, 2013; Corporación EMA, 2022, 2024; Incombustion Unión Temporal, 2014). En consecuencia, aquellos códigos CIU que no presentaban un componente sustancial de refrigeración fueron excluidos de este análisis.

Figura 50. Interpretación de códigos CIU al NCAP

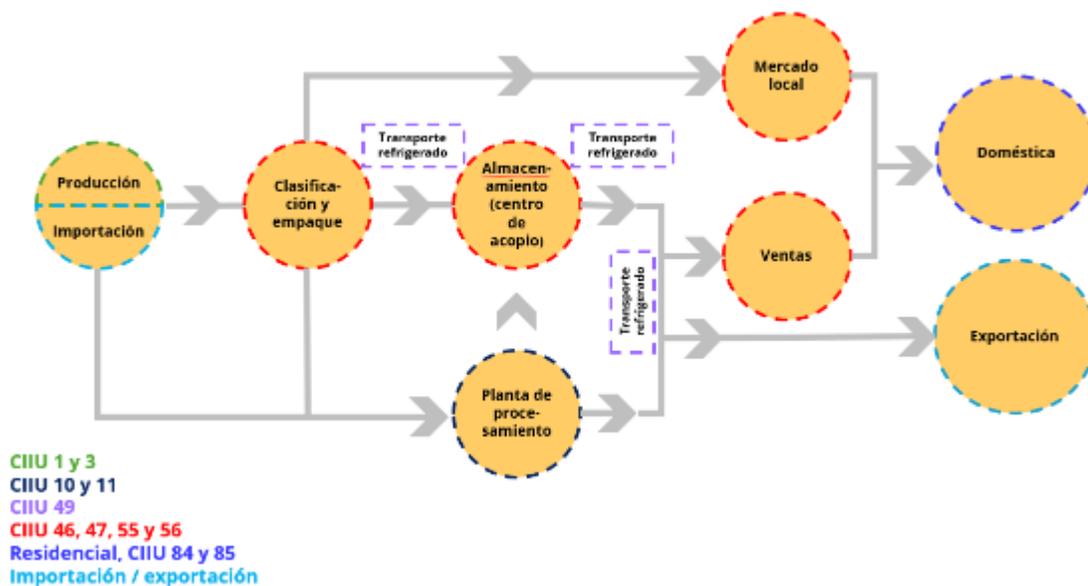


Fuente: Elaboración propia

Por una parte, la cadena de frío en alimentos representa un sistema logístico integral diseñado para la conservación de productos perecederos, como alimentos, bebidas y lácteos, entre otros. Este sistema opera desde la fase de producción hasta el consumo final, con el objetivo primordial de mantener la calidad de los productos y extender su vida útil.

El NCAP proporciona una estructura detallada de la cadena de frío, ilustrada en la **Figura 51**. No obstante, en el contexto nacional, se ha adoptado un enfoque de unificación que ha resultado en subcategorías identificadas por colores con el fin de alinearlos a la metodología internacional. Esta representación gráfica tiene como objetivo ilustrar las diversas etapas por las que atraviesan los alimentos, desde su producción en la finca hasta la mesa del consumidor final.

Figura 51. Componentes de la cadena de frío en alimentos según el NCAP



Fuente: Adaptado de (UN ESCAP, 2021)

En la refrigeración en los sectores de producción colombianos, se observa que esta tecnología está en diversas actividades económicas. En los CIU 1 y 3, correspondientes al sector primario, la refrigeración se aplica en áreas específicas. Por ejemplo, en la floricultura se utiliza para prolongar la vida útil de las flores, mientras que en la ganadería se emplea para la conservación de la leche. En la porcicultura, la refrigeración es esencial para la preservación del esperma destinado a la inseminación artificial. Además, en el sector pesquero, el uso de hielo es crucial para mantener la calidad del producto (Corporación EMA, 2024).

8.2.1.1. Producción

En la refrigeración en los sectores de producción colombianos, se observa que esta tecnología está en diversas actividades económicas. En los CIU 1 y 3, correspondientes al sector primario, la refrigeración se aplica en áreas específicas, como se detalla en la **Tabla 29**. Por ejemplo, en la floricultura se utiliza para prolongar la vida útil de las flores, mientras que en la ganadería se emplea para la conservación de la leche. En la porcicultura, la refrigeración es esencial para la preservación del esperma destinado a la inseminación artificial. Además, en el sector pesquero, el uso de hielo es crucial para mantener la calidad del producto (Corporación EMA, 2024).

Tabla 29. Descripción códigos CIU de cadena de frío en alimentos - producción

División	Grupo clase	Descripción
1	---	Agricultura, ganadería, caza y actividades de servicios conexas
	0125	Cultivo de flor de corte
	0141	Cría de ganado bovino y bufalino
	0144	Cría de ganado porcino
3	---	Pesca y acuicultura
	031	Pesca

Fuente: Adaptado de (Cámara de Comercio de Bogotá, 2020)

8.2.1.1.1. Estado actual

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

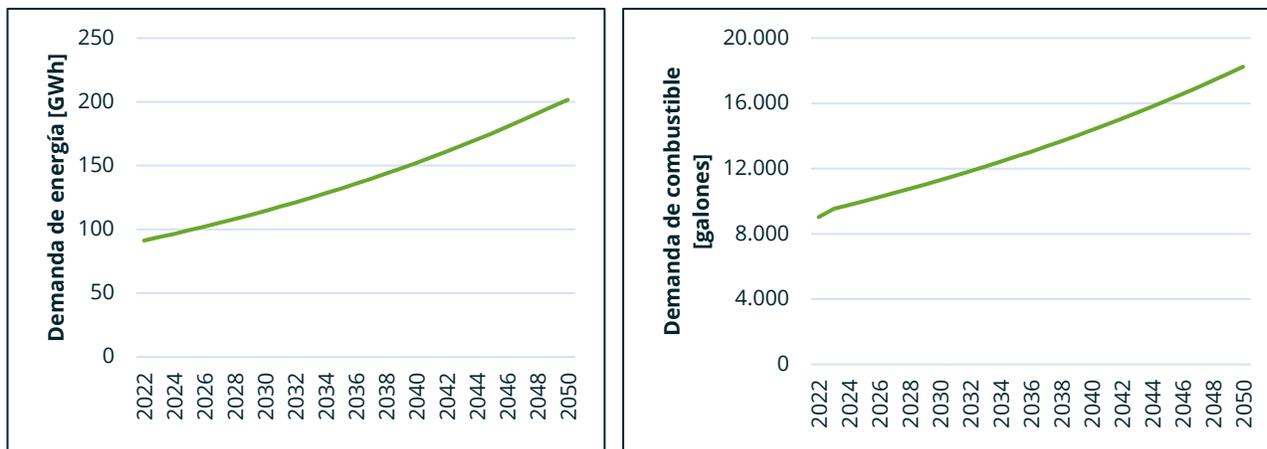
En la **Tabla 30** se presenta la demanda de energía eléctrica y combustible para refrigeración requerida por la subcategoría de producción a 2022. Complementariamente, la **Figura 52** muestra las proyecciones con tasas de crecimiento anual del 2,9% para electricidad y del 2,6% para combustible. Con estas tasas, se estima que para 2030 se alcanzarían 114 GWh y 11.286 galones de combustible, mientras que para 2050 las cifras proyectadas serían de 202 GWh y 18.242 galones de combustible.

Tabla 30. 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 52. Demanda de energía eléctrica proyectada para cadena de frío en alimentos-producción



(a)

(b)

Fuente: Elaboración propia

Emisiones equivalentes de CO₂

Las emisiones equivalentes de CO₂ se clasifican en dos tipos: directa e indirectas. La primera está vinculadas al Potencial de Calentamiento Global (GWP) de los refrigerantes utilizados, mientras que las emisiones indirectas se relacionan con el consumo energético del equipo.

Demanda satisfecha

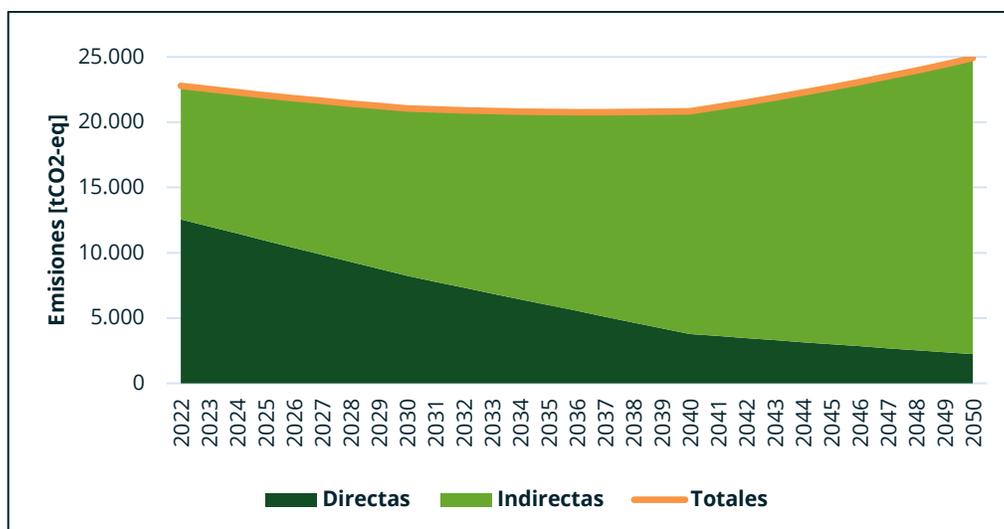
La **Tabla 31** presenta las emisiones directas, indirectas y totales para el 2022. Estas últimas se proyectan en la **Figura 53** con una tasa de crecimiento anual del 2%, alcanzando 21.061 tCO₂-eq en 2030 y 24.918 tCO₂-eq en 2050, respectivamente. El comportamiento semiparabólico de esta proyección se debe a la sustitución de los refrigerantes R-22, R-134a y R-404A por refrigerantes de menor Potencial de Calentamiento Global (GWP). Esta transición contribuye a la reducción de las emisiones directas de CO₂. No obstante, el incremento en el número total de equipos implica que, a pesar de esta sustitución crece la demanda, lo cual es más evidente a partir del 2040.

Tabla 31. Emisiones equivalentes de CO₂ 2022 para cadena de frío en alimentos-producción

Sector	Emisiones directas [tCO ₂ -eq]	Emisiones indirectas [tCO ₂ -eq]	Emisiones totales [tCO ₂ -eq]
Cultivo de flor de corte (CIU 0125)	11.768	9.429	21.198
Cría de ganado bovino y bufalino (CIU 0141)	648	507	1.155
Cría de ganado porcino (CIU 0144)	127	255	383
Pesca (CIU 031)	13	33	46
Total	10.643	10.224	22.755

Fuente: Elaboración propia

Figura 53. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en alimentos-producción



Fuente: Elaboración propia

8.2.1.1.2. Estrategias y/o tecnologías identificadas

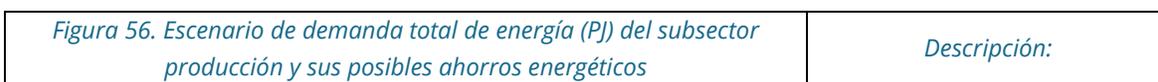
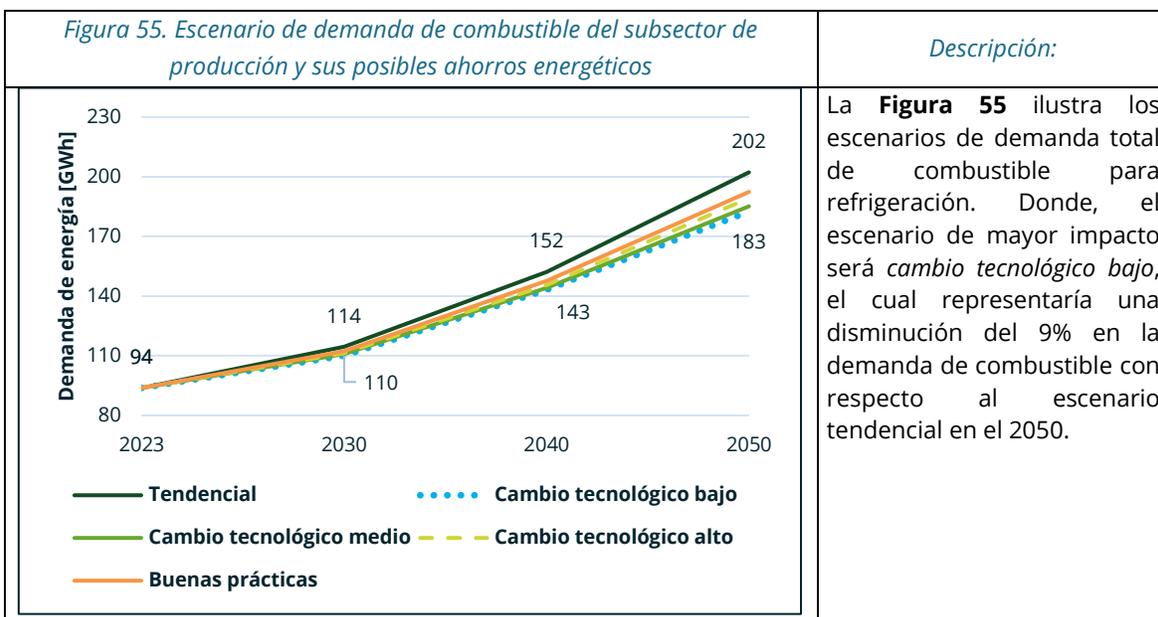
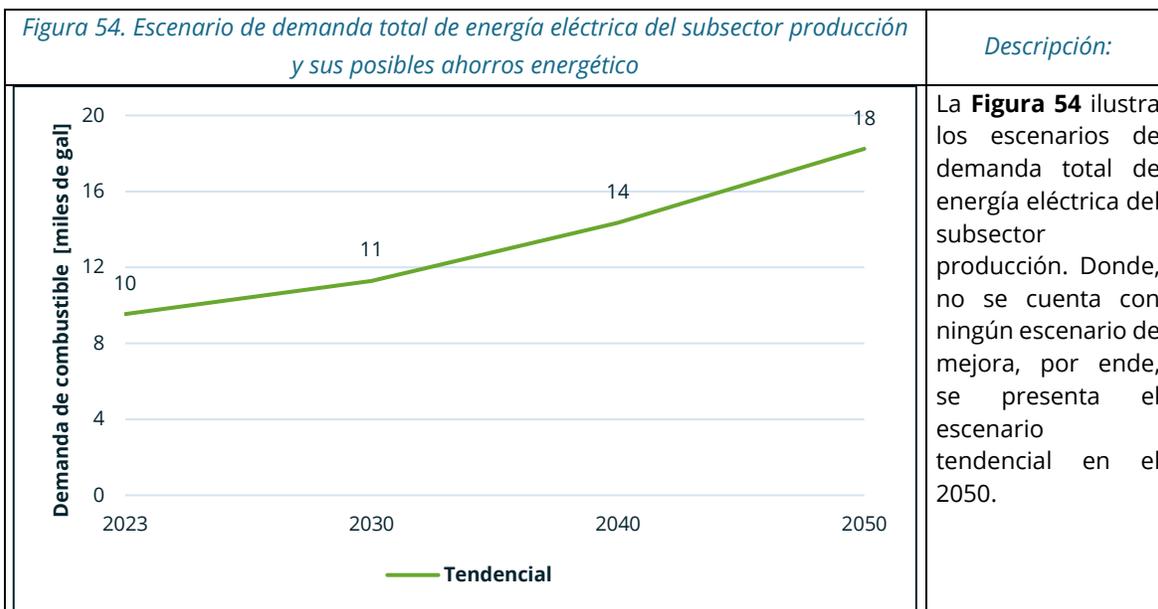
Tabla 32. Listado de estrategias identificadas para el subsector de producción

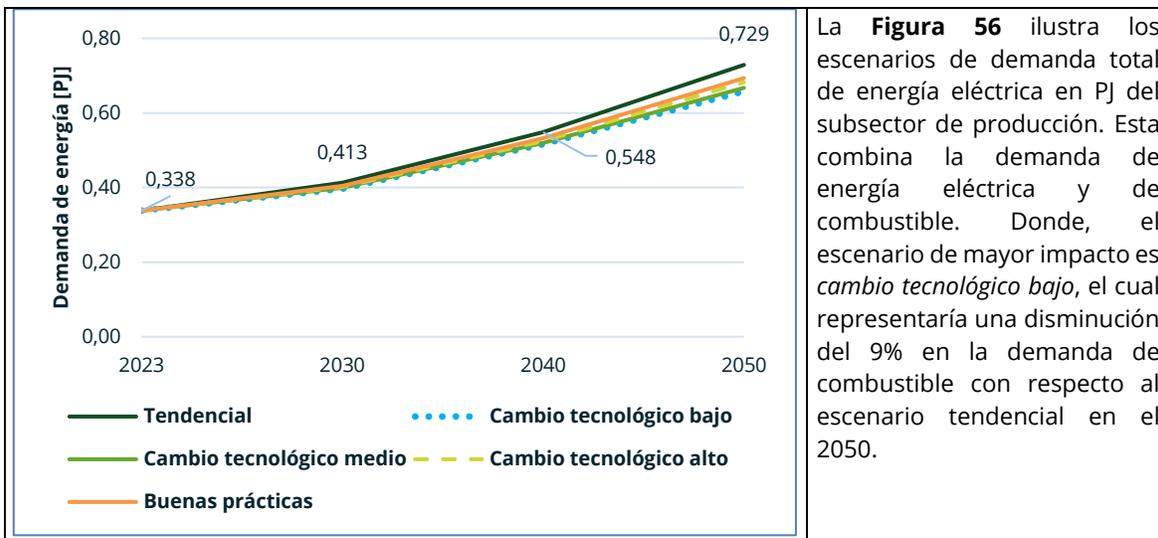
Estrategias	Escenario	Equipo	Mejora energética ⁶	Porcentaje de penetración de la estrategia		
				2030	2040	2050
Sistema con válvula de expansión electrónica con control de sistemas.	Cambio tecnológico bajo	Unidad condensadora	10%	40%	60%	100%
Sistema con válvula de expansión electrónica con control de sistemas.	Cambio tecnológico medio	Unidad condensadora	10%	30%	50%	80%
Equipo de refrigeración eficiente etiqueta A.		Neveras	37%	30%	50%	80%
Sistema con válvula de expansión electrónica con control de sistemas.	Cambio tecnológico alto	Unidad condensadora	10%	25%	40%	60%
Equipo de refrigeración eficiente etiqueta A.		Neveras	37%	25%	40%	60%
Equipo de refrigeración eficiente.		Autocontenidos	50%	25%	40%	60%
Ajuste y control de válvula de expansión para control del superheat y buenas prácticas.	Buenas prácticas	Unidad condensadora	5%	40%	60%	100%

Fuente: Elaboración propia

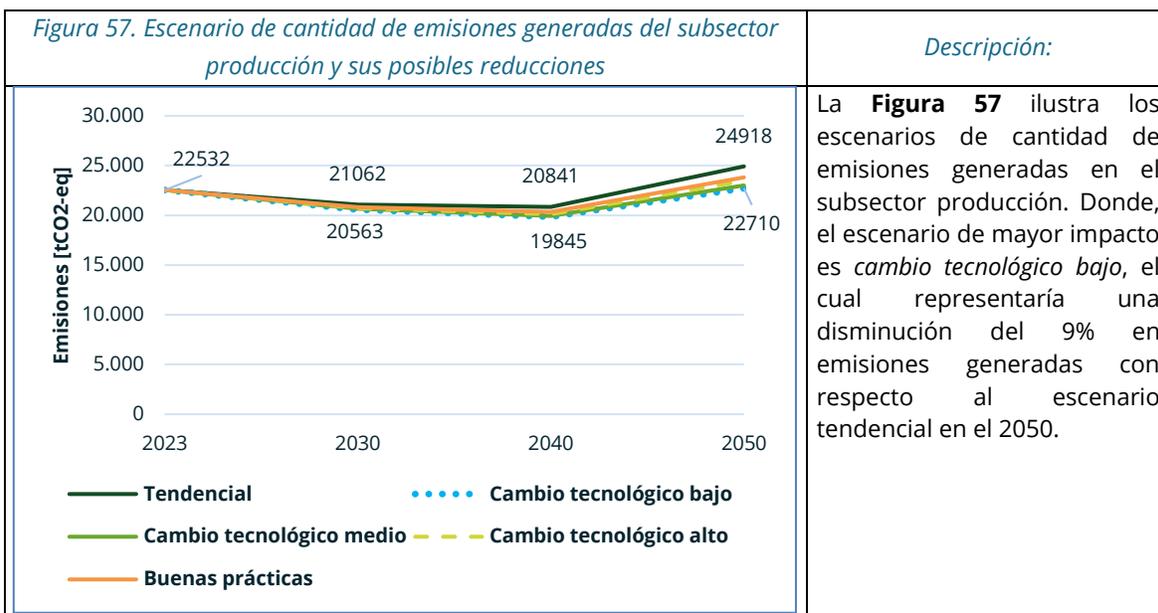
8.2.1.1.3. Escenarios contemplados

⁶ Las referencias de los porcentajes de eficiencia y penetración seleccionados para cada tecnología que compone cada sector o subsector se encuentran en el Anexo “Categorización tecnología climatización y refrigeración”.





La **Figura 56** ilustra los escenarios de demanda total de energía eléctrica en PJ del subsector de producción. Esta combina la demanda de energía eléctrica y de combustible. Donde, el escenario de mayor impacto es *cambio tecnológico bajo*, el cual representaría una disminución del 9% en la demanda de combustible con respecto al escenario tendencial en el 2050.



La **Figura 57** ilustra los escenarios de cantidad de emisiones generadas en el subsector producción. Donde, el escenario de mayor impacto es *cambio tecnológico bajo*, el cual representaría una disminución del 9% en emisiones generadas con respecto al escenario tendencial en el 2050.

La demanda de energía y la generación de emisiones en este sector se reducen principalmente en el escenario de cambio tecnológico bajo en comparación con el escenario tendencial. Esto se debe a que, aunque las unidades condensadoras en este escenario presentan un consumo mayor que en el de cambio tecnológico alto, su nivel de adopción es superior, ya que son más accesibles para los consumidores.

Este efecto es especialmente significativo, dado que el 92% del parque tecnológico en TR corresponde a unidades condensadoras. Por lo tanto, las medidas que impacten estas tecnologías tendrán una mayor incidencia en los resultados del sector.

8.2.1.1.4. Análisis B/C de las estrategias y/o tecnologías

Tabla 33. Evaluación costo beneficio de las estrategias y/o tecnología del subsector producción

Nombre	Subsector	Medida	Comportamiento Energético (PJ-año)	Comportamiento Energético (TR-año)	Emisiones Evitadas (TonCo2)	Usuario	Sistema	Sociedad	B/C total
						B/C usuario	B/C sistema	B/C social	
Equipo de refrigeración eficiente etiqueta A	Producción	Activa	2,740944	216.492.709	134.001,71	80,74	20,79	19,0	22,6
Ajuste y control de válvula de expansión para control del superheat y buenas prácticas	Producción	Activa	0,317484	25.076.376	15.521,43	119,05	8,94	0,2	6,1
Sistema con válvula de expansión electrónica con control de sistemas	Producción	Activa	0,740796	58.511.543	36.216,68	158,62	7,03	0,2	5,9
Compresor con variador	Producción	Activa	1,587419	125.381.878	77.607,17	98,07	5,18	0,2	5,2
Compresor con variador, con válvula de expansión electrónica con control de sistemas	Producción	Activa	2,381129	188.072.817	116.410,75	118,81	5,45	0,2	5,3
Sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100GWP) Propano	Producción	Activa	1,156615	91.354.937	56.545,64	0,34	7,93	18,5	6,4

Fuente: Elaboración propia

8.2.1.2. Procesamiento

En cuanto al procesamiento de alimentos, que abarca los CIU 10 y 11 (ver **Tabla 34**), la refrigeración es indispensable en múltiples etapas, desde la conservación de materias primas hasta el almacenamiento de productos terminados. Esto incluye una amplia gama de alimentos como cárnicos, pescados, frutas, verduras, aceites, lácteos y bebidas, entre otros (Incombustion Unión Temporal, 2014).

Tabla 34. Descripción códigos CIU de cadena de frío en alimentos - procesamiento

División	Grupo	Descripción
10	---	Elaboración de productos alimenticios
	101	Procesamiento y conservación de carne, pescado, crustáceos y moluscos
	102	Procesamiento y conservación de frutas, legumbres, hortalizas y tubérculos
	103	Elaboración de aceites y grasas de origen vegetal y animal
	104	Elaboración de productos lácteos
	105	Elaboración de productos de molinería, almidones y productos derivados del almidón
	108	Elaboración de otros productos alimenticios
11	---	Elaboración de bebidas

Fuente: Adaptado de (Cámara de Comercio de Bogotá, 2020)

8.2.1.2.1. Estado actual



Demanda energética (eléctrica)

El proceso 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

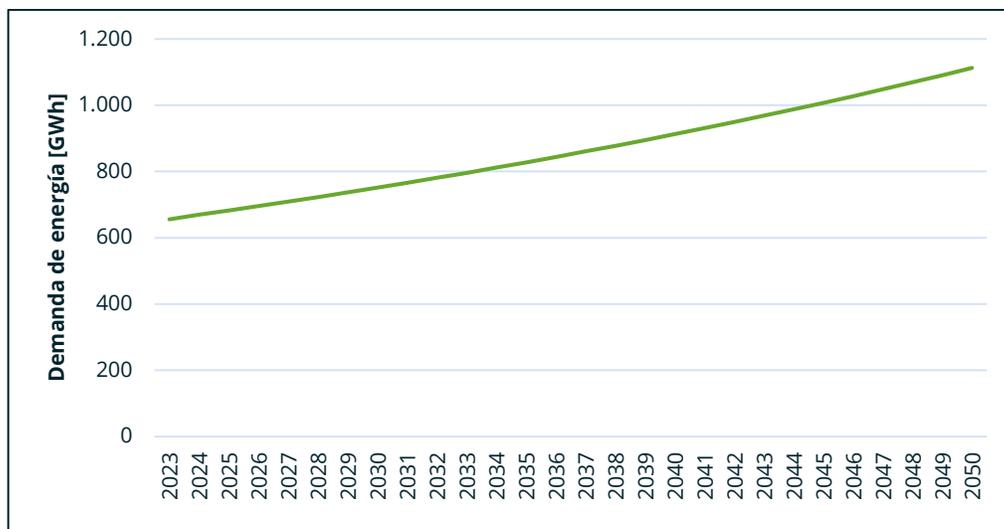
En la **Tabla 35** se detalla la demanda de energía eléctrica en 2023, requerida para la refrigeración en procesamiento. Adicionalmente, la **Figura 58** ilustra la proyección con una tasa de crecimiento anual del 2,3%. Según estas proyecciones, se espera que para 2030 la demanda alcance 751 GWh, mientras que para 2050 se proyecta un incremento hasta los 1.113 GWh.

Tabla 35. 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		657

Fuente: Elaboración propia

Figura 58. Demanda de energía eléctrica proyectada 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.

Demanda satisfecha

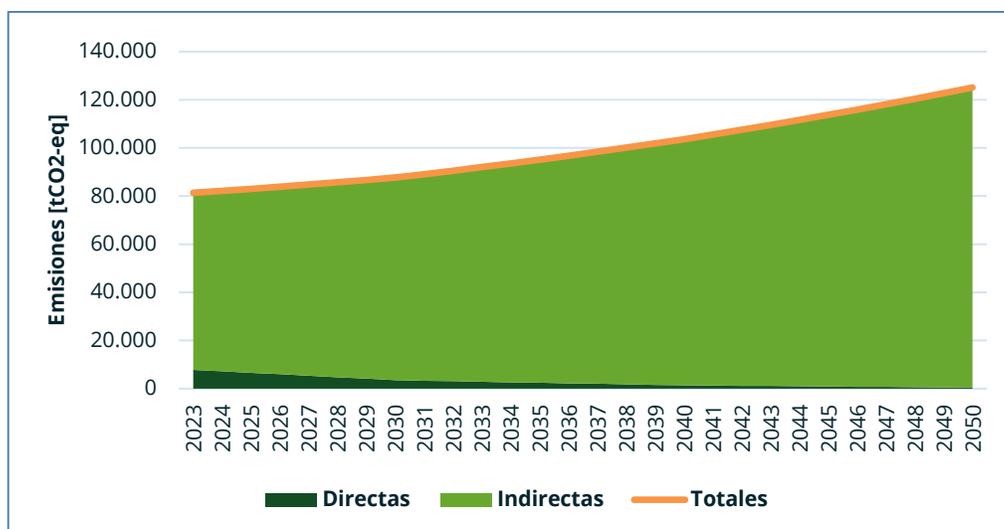
En la **Tabla 36** se desglosan las emisiones correspondientes al año 2023, categorizadas en directas, indirectas y totales. La evolución de las emisiones totales se ilustra en la **Figura 59**, con una tasa de crecimiento anual del 1,5%. Según estas proyecciones, se prevé ascenderán a 87.654 tCO₂-eq para el año 2030, y continuarán su aumento hasta alcanzar 125.184 tCO₂-eq en 2050.

Tabla 36. Emisiones equivalentes de CO₂ para cadena de frío en alimentos-procesamiento

Sector		Emisiones directas [tCO ₂ -eq]	Emisiones indirectas [tCO ₂ -eq]	Emisiones totales [tCO ₂ -eq]
Alimentos (CIU 10)	CIU 101	2.240	15.490	17.730
	CIU 102	18	3.000	3.019
	CIU 103	3.982	5.365	9.347
	CIU 104	532	21.918	22.449
	CIU 105	0	10.792	10.792
	CIU 108	912	1.453	2.366
Bebidas (CIU 11)		133	15.546	15.679
Total		7.818	65.971	81.382

Fuente: Elaboración propia

Figura 59. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en alimentos-procesamiento



Fuente: Elaboración propia

8.2.1.2.2. Estrategias y/o tecnologías identificadas

Tabla 37. Listado de estrategias identificadas para el subsector de procesamiento

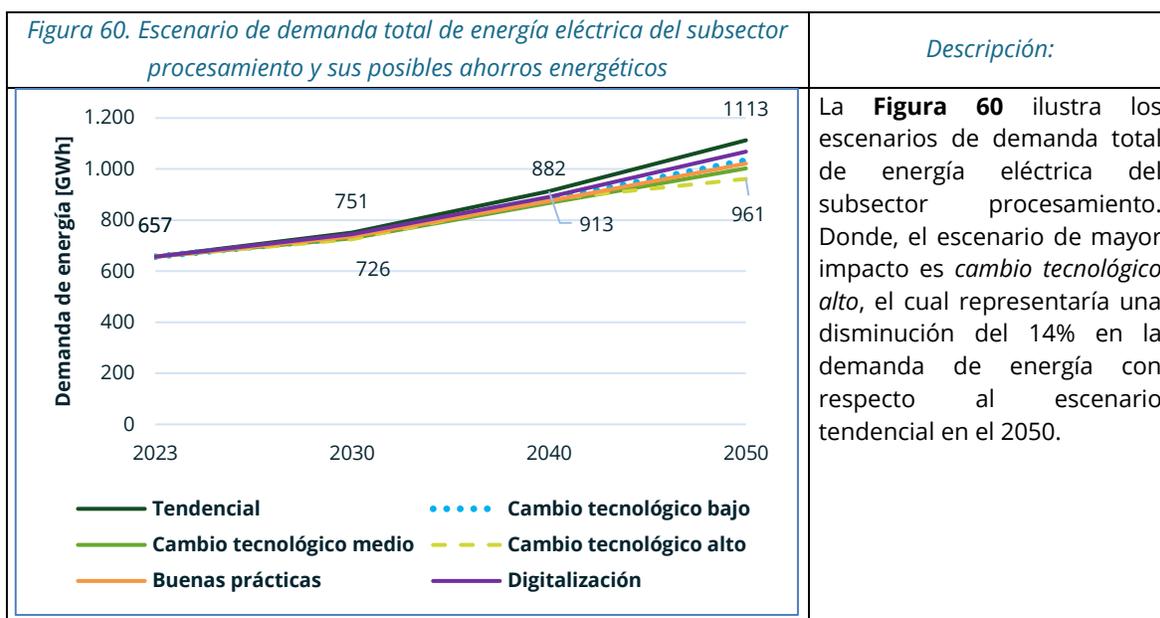
Estrategias	Escenario	Equipo	Mejora energética ⁷	Porcentaje de penetración de la estrategia		
				2030	2040	2050
Recuperación de calor; sistema con válvula de expansión electrónica.	Cambio tecnológico bajo	Chiller y sistemas centralizados	12%	20%	30%	60%
sistema con válvula de expansión electrónica.		Unidades condensadoras	10%	20%	30%	60%
Sistema con válvula de expansión electrónica; sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100 GWP) propano.	Cambio tecnológico medio	Unidades condensadoras, chillers y sistemas centralizados	18%	15%	25%	50%
Recuperación de calor; sistema con válvula de expansión electrónica; sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100 GWP) propano.		Chiller y sistemas centralizados	20%	15%	25%	50%
Sistema con válvula de expansión electrónica; sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100 GWP) propano; compresor con variador.	Cambio tecnológico alto	Unidades condensadoras, chillers y	25%	10%	10%	40%

⁷ Las referencias de los porcentajes de eficiencia y penetración seleccionados para cada tecnología que compone cada sector o subsector se encuentran en el Anexo “Categorización tecnología climatización y refrigeración”.

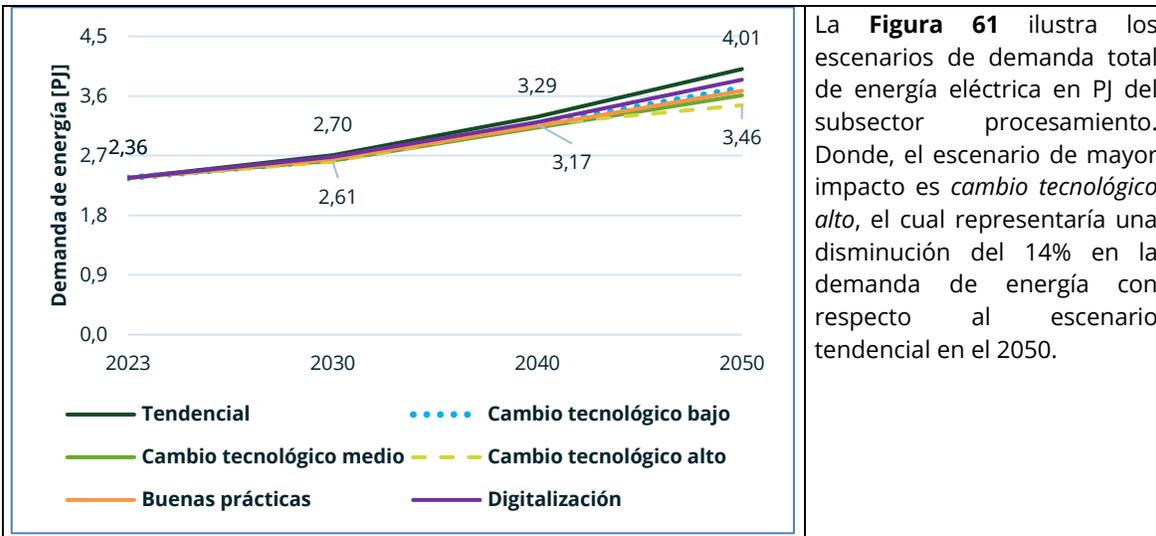
		sistemas centralizados				
Recuperación de calor; sistema con válvula de expansión electrónica; sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100 GWP) propano; ventiladores y condensador con variador.		Chiller y sistemas centralizados	35%	10%	10%	40%
Ajuste y control de válvula de expansión para control del superheat y buenas prácticas.	Buenas prácticas	Unidades condensadoras, chillers y sistemas centralizados	5%	40%	60%	100%
Digitalización y control de sistemas.	Digitalización	Unidades condensadoras, chillers y sistemas centralizados	8%	10%	30%	50%

Fuente: Elaboración propia

8.2.1.2.3. Escenarios contemplados

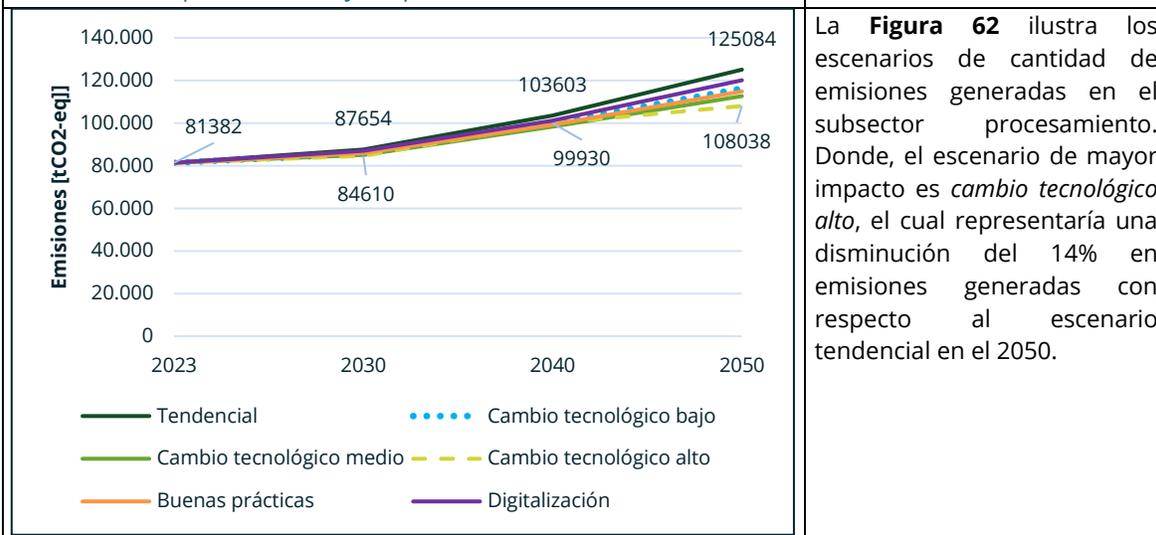


<p>Figura 61. Escenario de demanda total de energía (PJ) del subsector procesamiento y sus posibles ahorros energéticos</p>	<p>Descripción:</p>
---	---------------------



La **Figura 61** ilustra los escenarios de demanda total de energía eléctrica en PJ del subsector procesamiento. Donde, el escenario de mayor impacto es *cambio tecnológico alto*, el cual representaría una disminución del 14% en la demanda de energía con respecto al escenario tendencial en el 2050.

Figura 62. Escenario de cantidad de emisiones generadas del subsector procesamiento y sus posibles reducciones



La **Figura 62** ilustra los escenarios de cantidad de emisiones generadas en el subsector procesamiento. Donde, el escenario de mayor impacto es *cambio tecnológico alto*, el cual representaría una disminución del 14% en emisiones generadas con respecto al escenario tendencial en el 2050.

Respecto al subsector de procesamiento, teniendo en cuenta que la mayoría de su parque tecnológico está compuesto por chillers HCFC con un 70% (en TR), las medidas de cambio tecnológico tienen un gran impacto sobre dichos equipos teniendo en cuenta su gran grado de aplicabilidad, alcanzando en el escenario de mayor impacto un 14% de reducción de consumo de energía eléctrica con respecto al escenario tendencial.

8.2.1.2.4. Análisis B/C de las estrategias y/o tecnologías

Tabla 38. Evaluación costo beneficio de las estrategias y/o tecnología del subsector procesamiento

Nombre	Subsector	Medida	Comportamiento Energético (PJ-año)	Comportamiento Energético (TR-año)	Emisiones Evitadas (TonCo2)	Usuario		Sistema		Sociedad		B/C total
						B/C usuario	B/C sistema	B/C social	B/C social			
Sistema con válvula de expansión electrónica	Procesamiento	Activa	5,018912	396.417.401	245.369,05	2,95	5,46	0,4	3,0			
Compresor con variador	Procesamiento	Activa	10,754812	849.465.858	525.790,82	2,02	4,58	0,5	3,1			
Digitalización y control de sistemas	Procesamiento	Activa	5,162310	407.743.612	252.379,59	0,34	5,29	1,2	0,6			
Sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100GWP)	Procesamiento	Activa	7,836102	618.932.351	383.098,33	0,55	4,45	0,9	2,1			
Control de fugas y aislamiento en tuberías	Procesamiento	Activa	2,509456	198.208.700	122.684,52	0,38	5,29	1,1	0,7			
Ajuste y control de válvula de expansión para control del superheat	Procesamiento	Activa	2,150962	169.893.172	105.158,16	1,83	6,30	0,3	2,1			
Recuperación de calor	Procesamiento	Activa	2,150962	169.893.172	105.158,16	0,20	5,29	1,3	0,4			
Ventiladores y condensador con variador	Procesamiento	Activa	5,377406	424.732.929	262.895,41	1,31	5,06	0,6	2,1			
Sistemas con componentes de alta eficiencia, paquete de compresor y condensador	Procesamiento	Activa	17,207700	1.359.145.373	841.265,31	1,12	4,58	0,6	2,4			

Fuente: Elaboración propia

8.2.1.3. Empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes Cálido húmedo

Para este estudio, se han integrado las etapas de empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes en una sola subcategoría. Esta decisión refleja la realidad del mercado colombiano, donde es común que los comercializadores asuman las funciones de empaque y almacenamiento, o que los productos pasen directamente de los productores a los puntos de venta final, demostrando la integración en el mercado. Esta categoría engloba los CIU 46, 47, 55 y 56, como se especifica en la **Tabla 39**.

Tabla 39. Descripción códigos CIU de cadena de frío en alimentos - empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes

División	Grupo	Descripción
46	---	Comercio al por mayor y en comisión o por contrata, excepto el comercio de vehículos automotores y motocicletas
47	---	Comercio al por menor (incluso el comercio al por menor de combustibles), excepto el de vehículos automotores y motocicletas
55	---	Alojamiento
56	---	Actividades de servicios de comidas y bebidas

Fuente: Adaptado de (Cámara de Comercio de Bogotá, 2020)

8.2.1.3.1. Estado actual

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 temperaturas ambientales de Colombia. 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

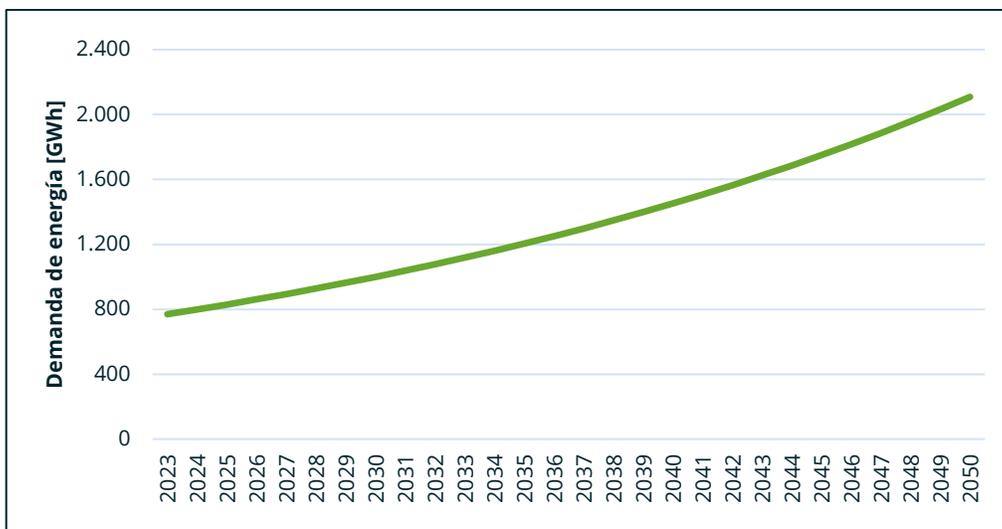
La demanda de energía eléctrica para refrigeración en estos sectores se presenta en detalle en la **Tabla 40** (2023). La **Figura 63** complementa esta información con una proyección basada en un crecimiento anual del 3,8%. Esta indica que la demanda energética del sector ascenderá a 1.000 GWh en 2030, y continuará su incremento hasta alcanzar los 2.109 GWh en 2050.

Tabla 40. Demanda energética 2023 para cadena de frío en alimentos-empaques, 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 63. Demanda de energía eléctrica proyectada para cadena de frío en alimentos- empaques, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes



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: las emisiones directas e indirectas.

Demanda satisfecha

En la **Tabla 41** presenta las emisiones del 2023, para ventas, hoteles y restaurantes. Adicionalmente, en la **Figura 64** se proyecta que las emisiones totales se reducirán hasta los 177.675 tCO₂-eq para el año 2030 y continuarán aumentando hasta llegar a 239.709 tCO₂-eq en 2050.

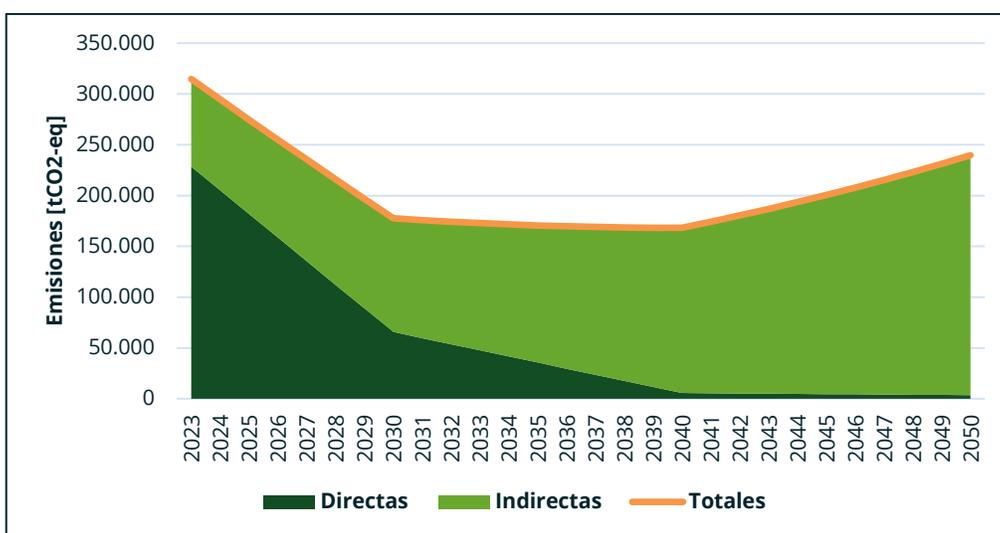
Esta proyección presenta dos puntos de inflexión. El primero ocurre en 2030, debido a la eliminación progresiva del refrigerante R-22. A partir de ese año y hasta 2040, la reducción gradual de emisiones se debe a la eliminación de los refrigerantes R-404A, R-507 y R-134a. Sin embargo, a pesar de estas medidas, el aumento en el inventario de equipos contribuye a un incremento en las emisiones hacia 2050, incluso utilizando refrigerantes más ecológicos, como el amoníaco (R-717).

Tabla 41. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 para cadena de frío en alimentos-empaques, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes

Sector	Emisiones directas [tCO ₂ -eq]	Emisiones indirectas [tCO ₂ -eq]	Emisiones totales [tCO ₂ -eq]
Comercio al por mayor (CIU 46)	73.826	18.438	92.264
Comercio al por menor (CIU 47)	147.788	58.623	206.411
Alojamiento (CIU 55)	6.384	8.514	14.898
Actividades de servicios de comidas y bebidas (CIU 56)	478	638	1.116
Total	228.476	86.213	314.690

Fuente: Elaboración propia

Figura 64. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en alimentos- empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes



Fuente: Elaboración propia

8.2.1.3.2. Estrategias y/o tecnologías identificadas

Tabla 42. Listado de estrategias identificadas para el subsector empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes

Estrategias	Escenario	Equipo	Mejora energética	Porcentaje de penetración de la estrategia		
				2030	2040	2050
Ventiladores y condensador con variador; sistema con válvula de expansión electrónica.	Cambio tecnológico bajo	Sistemas centralizados	18%	20%	30%	60%
Sistema con válvula de expansión electrónica.		Unidades condensadoras	10%	20%	30%	60%
Ventiladores y condensador con variador + sistema con válvula de expansión electrónica; sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100 GWP) propano+ Compresor con variador.	Cambio tecnológico medio	Sistemas centralizados	35%	15%	25%	50%
Sistema con válvula de expansión electrónica; sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100GWP) Propano.		Unidades condensadoras	20%	15%	25%	50%
Ventiladores y condensador con variador; sistema con válvula de expansión electrónica; sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100 GWP) propano; compresor con variador + Puertas para gabinetes.	Cambio tecnológico alto	Sistemas centralizados	45%	10%	10%	40%
Sistema con válvula de expansión electrónica; sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100 GWP) propano.		Unidades condensadoras	20%	10%	10%	40%
		Autocontenidos	40%	10%	10%	40%
Ajuste y control de válvula de expansión para control del superheat y buenas prácticas.	Buenas prácticas	Unidades condensadoras y sistemas centralizados	5%	40%	60%	100%

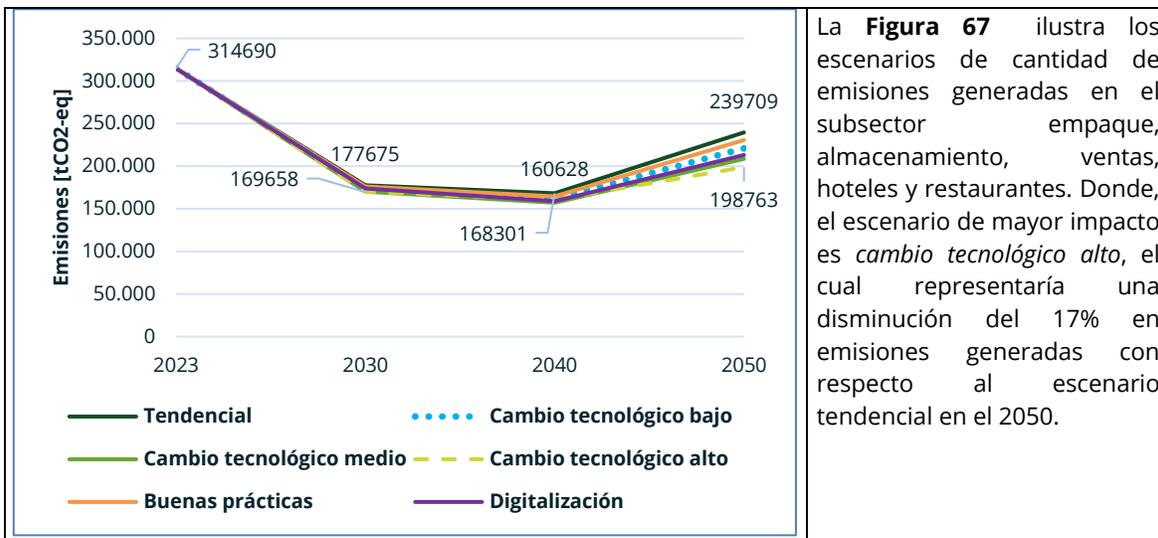
Fuente: Elaboración propia

8.2.1.3.3. Escenarios contemplados

<p><i>Figura 65. Escenario de demanda total de energía eléctrica del subsector empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes y sus posibles ahorros energéticos</i></p>	<p><i>Descripción:</i></p>																																			
<table border="1"> <caption>Data for Figura 65: Demanda de energía [GWh]</caption> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Tendencial</th> <th>Cambio tecnológico bajo</th> <th>Cambio tecnológico medio</th> <th>Cambio tecnológico alto</th> <th>Buenas prácticas</th> <th>Digitalización</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2023</td> <td>770</td> <td>770</td> <td>770</td> <td>770</td> <td>770</td> <td>770</td> </tr> <tr> <td>2030</td> <td>1000</td> <td>1000</td> <td>1000</td> <td>1000</td> <td>1000</td> <td>957</td> </tr> <tr> <td>2040</td> <td>1452</td> <td>1452</td> <td>1452</td> <td>1452</td> <td>1452</td> <td>1390</td> </tr> <tr> <td>2050</td> <td>2109</td> <td>2109</td> <td>2109</td> <td>2109</td> <td>2109</td> <td>1751</td> </tr> </tbody> </table>	Año	Tendencial	Cambio tecnológico bajo	Cambio tecnológico medio	Cambio tecnológico alto	Buenas prácticas	Digitalización	2023	770	770	770	770	770	770	2030	1000	1000	1000	1000	1000	957	2040	1452	1452	1452	1452	1452	1390	2050	2109	2109	2109	2109	2109	1751	<p>La Figura 65 ilustra los escenarios de demanda total de energía eléctrica del subsector empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes. Donde, el escenario de mayor impacto es <i>cambio tecnológico alto</i>, el cual representaría una disminución del 17% en la demanda de energía con respecto al escenario tendencial en el 2050.</p>
Año	Tendencial	Cambio tecnológico bajo	Cambio tecnológico medio	Cambio tecnológico alto	Buenas prácticas	Digitalización																														
2023	770	770	770	770	770	770																														
2030	1000	1000	1000	1000	1000	957																														
2040	1452	1452	1452	1452	1452	1390																														
2050	2109	2109	2109	2109	2109	1751																														

<p><i>Figura 66. Escenario de demanda total de energía (PJ) del subsector empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes y sus posibles ahorros energéticos</i></p>	<p><i>Descripción:</i></p>																																			
<table border="1"> <caption>Data for Figura 66: Demanda de energía [PJ]</caption> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Tendencial</th> <th>Cambio tecnológico bajo</th> <th>Cambio tecnológico medio</th> <th>Cambio tecnológico alto</th> <th>Buenas prácticas</th> <th>Digitalización</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2023</td> <td>2,77</td> <td>2,77</td> <td>2,77</td> <td>2,77</td> <td>2,77</td> <td>2,77</td> </tr> <tr> <td>2030</td> <td>3,60</td> <td>3,60</td> <td>3,60</td> <td>3,60</td> <td>3,60</td> <td>3,45</td> </tr> <tr> <td>2040</td> <td>5,23</td> <td>5,23</td> <td>5,23</td> <td>5,23</td> <td>5,23</td> <td>5,00</td> </tr> <tr> <td>2050</td> <td>7,59</td> <td>7,59</td> <td>7,59</td> <td>7,59</td> <td>7,59</td> <td>6,30</td> </tr> </tbody> </table>	Año	Tendencial	Cambio tecnológico bajo	Cambio tecnológico medio	Cambio tecnológico alto	Buenas prácticas	Digitalización	2023	2,77	2,77	2,77	2,77	2,77	2,77	2030	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,45	2040	5,23	5,23	5,23	5,23	5,23	5,00	2050	7,59	7,59	7,59	7,59	7,59	6,30	<p>La Figura 66 ilustra los escenarios de demanda total de energía eléctrica en PJ del subsector empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes. Donde, el escenario de mayor impacto es <i>cambio tecnológico alto</i>, el cual representaría una disminución del 17% en la demanda de energía con respecto al escenario tendencial en el 2050.</p>
Año	Tendencial	Cambio tecnológico bajo	Cambio tecnológico medio	Cambio tecnológico alto	Buenas prácticas	Digitalización																														
2023	2,77	2,77	2,77	2,77	2,77	2,77																														
2030	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,45																														
2040	5,23	5,23	5,23	5,23	5,23	5,00																														
2050	7,59	7,59	7,59	7,59	7,59	6,30																														

<p><i>Figura 67. Escenario de cantidad de emisiones generadas del subsector empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes y sus posibles reducciones</i></p>	<p><i>Descripción:</i></p>
--	----------------------------



La **Figura 67** ilustra los escenarios de cantidad de emisiones generadas en el subsector empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes. Donde, el escenario de mayor impacto es *cambio tecnológico alto*, el cual representaría una disminución del 17% en emisiones generadas con respecto al escenario tendencial en el 2050.

Respecto al subsector de empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes, teniendo en cuenta que la mayoría de su parque tecnológico está compuesto por sistemas centralizados con un 56% (en TR), las medidas de cambio tecnológico tienen un gran impacto sobre dichos equipos teniendo en cuenta su gran grado de aplicabilidad, alcanzando en el escenario de mayor impacto un 17% de reducción de consumo de energía eléctrica con respecto al escenario tendencial. Teniendo en cuenta lo anterior, según los escenarios se podría prever hasta un 4% creciente de ahorro energético para el año 2040 con respecto cambio tecnológico alto.

8.2.1.3.4. Análisis B/C de las estrategias y/o tecnologías

Tabla 43. Evaluación costo beneficio de las estrategias y/o tecnología del subsector empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes

Nombre	Subsector	Medida	Comportamiento Energético (PJ-año)	Comportamiento Energético (TR-año)	Emisiones Evitadas (TonCo2)	Usuario	Sistema	Sociedad	B/C total
						B/C usuario	B/C sistema	B/C social	
Sistema con válvula de expansión electrónica	Empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes	Activa	6,331685	500.106.353	309.549,03	13,65	4,83	0,2	4,5
Compresor con variador	Empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes	Activa	13,567896	1.071.656.471	663.319,34	12,18	4,52	0,2	4,4
Digitalización y control de sistemas	Empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes	Activa	4.070,368701	321.496.941.219	198.995.803,18	0,91	4,44	0,6	2,5
Puertas para gabinetes	almacenamiento, ventas, hoteles y re	Activa	18,090528	1.428.875.294	884.425,79	2,94	4,47	0,4	3,7
Control de fugas y aislamiento en tuberías	almacenamiento, ventas, hoteles y re	Activa	3,165842	250.053.177	154.774,51	1,65	4,52	0,5	3,0
Solar + almacenamiento frío (demanda no satisfecha)	almacenamiento, ventas, hoteles y re	Activa	35,457434	2.800.595.577	1.733.474,55	10,72	4,52	0,2	4,2
Ajuste y control de de válvula de expansión para control del superheat	almacenamiento, ventas, hoteles y re	Activa	2,713579	214.331.294	132.663,87	10,19	5,25	0,2	4,4
Sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100GWP)	almacenamiento, ventas, hoteles y re	Activa	9,885753	780.823.446	483.303,47	0,44	4,37	120,1	13,3
Recuperación de calor	almacenamiento, ventas, hoteles y re	Activa	2,170863	171.465.035	106.131,10	0,37	4,52	1,0	1,3
Ventiladores y condensador con variador	almacenamiento, ventas, hoteles y re	Activa	6,783948	535.828.235	331.659,67	6,05	4,52	0,3	4,0
Sistemas con componentes de alta eficiencia, paquete de compresor y condensador	almacenamiento, ventas, hoteles y re	Activa	24,422212	1.928.981.647	1.193.974,82	6,66	4,52	0,2	4,0

Fuente: Elaboración propia

8.2.1.4. Terciario

En el sector terciario, involucra dos CIU 84 y 85, descritos en la **Tabla 44** donde se hace uso de la refrigeración, principalmente para la conservación de alimentos que se consumen directamente o se utilizan en la preparación de comidas. Sabiendo que, esta subcategoría corresponde a dos sectores totalmente diferentes, en los resultados estos se presentan de manera independiente.

Tabla 44. Descripción códigos CIU de cadena de frío en alimentos – sector terciario

División	Grupo	Descripción
84	---	Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria
85	---	Educación

Fuente: Adaptado de (Cámara de Comercio de Bogotá, 2020)

8.2.1.4.1. Estado actual

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

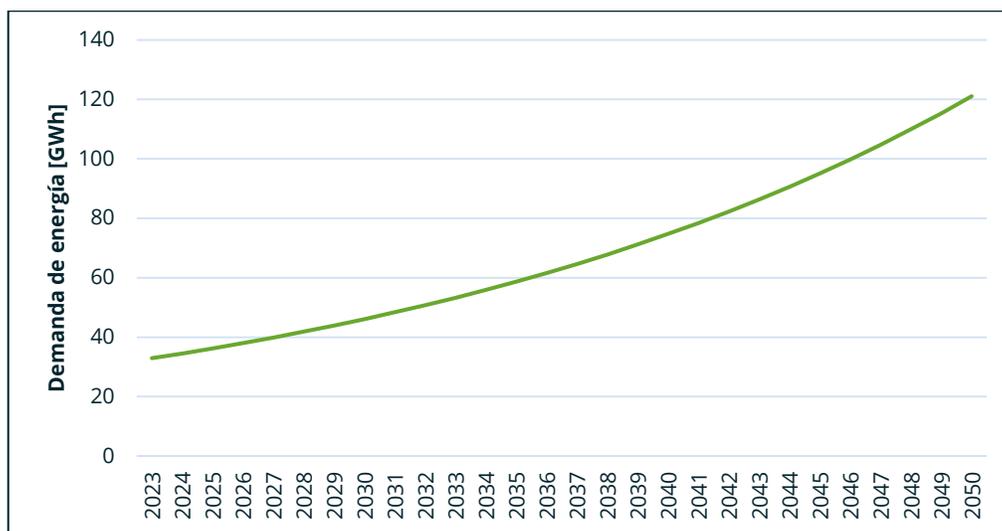
La **Tabla 45** detalla la demanda de energía eléctrica para refrigeración en 2023. Además, la **Figura 68** la proyección del consumo eléctrico para administración de defensa y educación basada en una tasa de crecimiento anual del 5%. Según esta proyección, se prevé que la demanda energética del sector alcance los 46 GWh en 2030 y 121 GWh para 2050.

Tabla 45. Demanda energética 2023 para cadena de frío en alimentos- terciario

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

Fuente: Elaboración propia

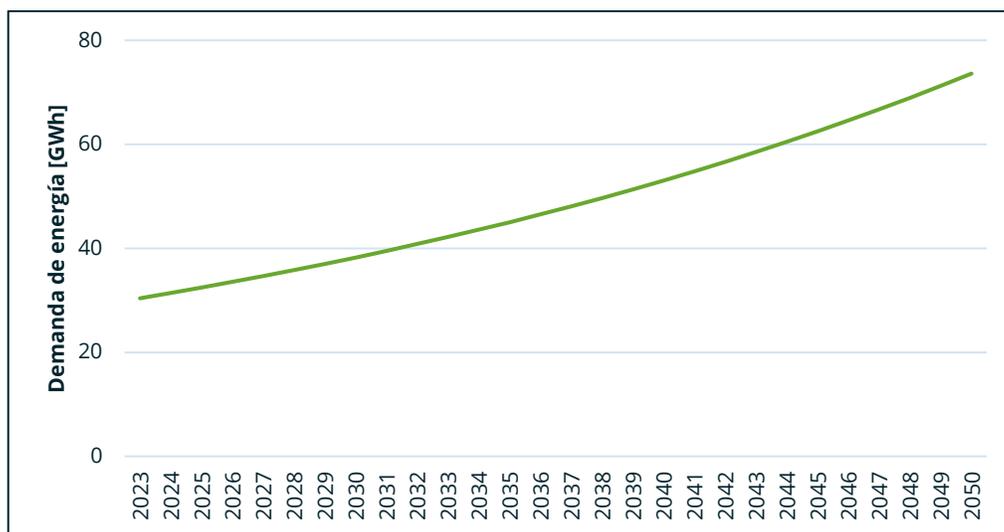
Figura 68. Demanda de energía eléctrica proyectada para cadena de frío en alimentos- terciario – CIU 84



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en la **Figura 69** se detalla la proyección de educación en consumo eléctrico a una tasa de crecimiento anual del 3%. Según esta proyección, se estima que la demanda energética del sector alcance los 38 GWh en 2030 y 74 GWh para 2050.

Figura 69. Demanda de energía eléctrica proyectada para cadena de frío en alimentos- terciario – CIU 85



Fuente: Elaboración propia

Emisiones equivalentes de CO₂

La cuantificación de las emisiones se basó en la cantidad de refrigerante emitido a la atmósfera. Siguiendo la metodología descrita en el **volumen 2**.

Demanda satisfecha

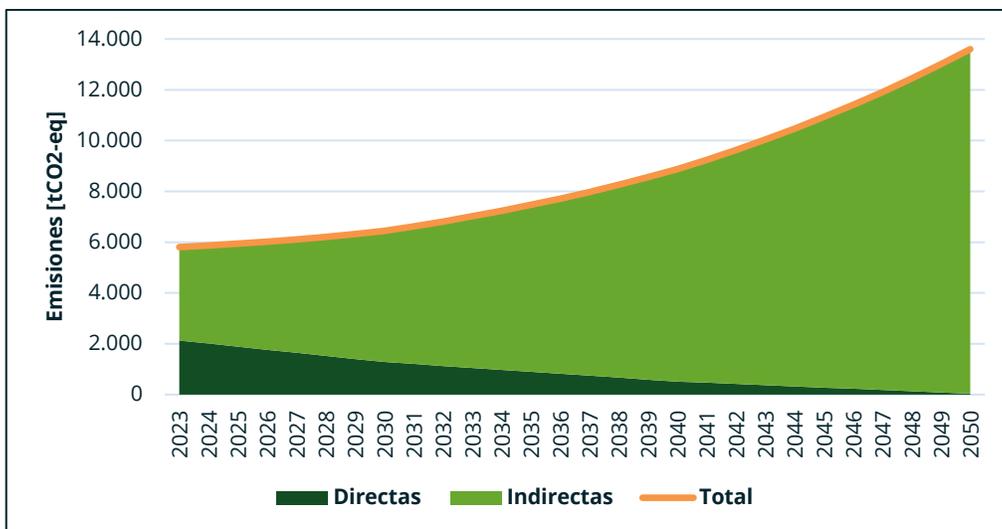
Las emisiones equivalentes de CO₂ al 2023 para administración pública y educación se presentan en la **Tabla 46**. Asimismo, en la **Figura 70** se proyecta que las emisiones totales de administración pública crecerán a una tasa anual del 3,2%, llegando a 6.444 tCO₂-eq para el año 2030 y a 13.600 tCO₂-eq en 2050.

Tabla 46. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 para cadena de frío en alimentos- terciario

Sector	Emisiones directas [tCO ₂ -eq]	Emisiones indirectas [tCO ₂ -eq]	Emisiones totales [tCO ₂ -eq]
Administración pública y defensa (CIU 84)	2.129	3.680	5.809
Educación (CIU 85)	1.406	3.404	4.810
Total	3.535	7.084	10.618

Fuente: Elaboración propia

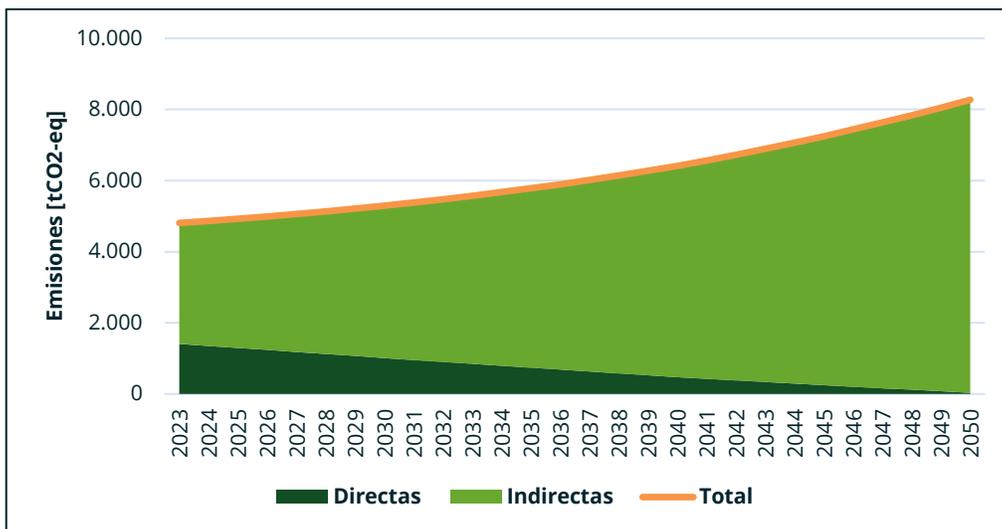
Figura 70. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en alimentos- terciario – CIU 84



Fuente: Elaboración propia

Respecto a la proyección de emisiones para educación, se presentan en la **Figura 71**, estas crecerán a una tasa anual del 2%, alcanzando 5.290 tCO₂-eq a 2030 y 8.272 tCO₂-eq a 2050.

Figura 71. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en alimentos- terciario – CIU 85



Fuente: Elaboración propia

8.2.1.4.2. Estrategias y/o tecnologías identificadas



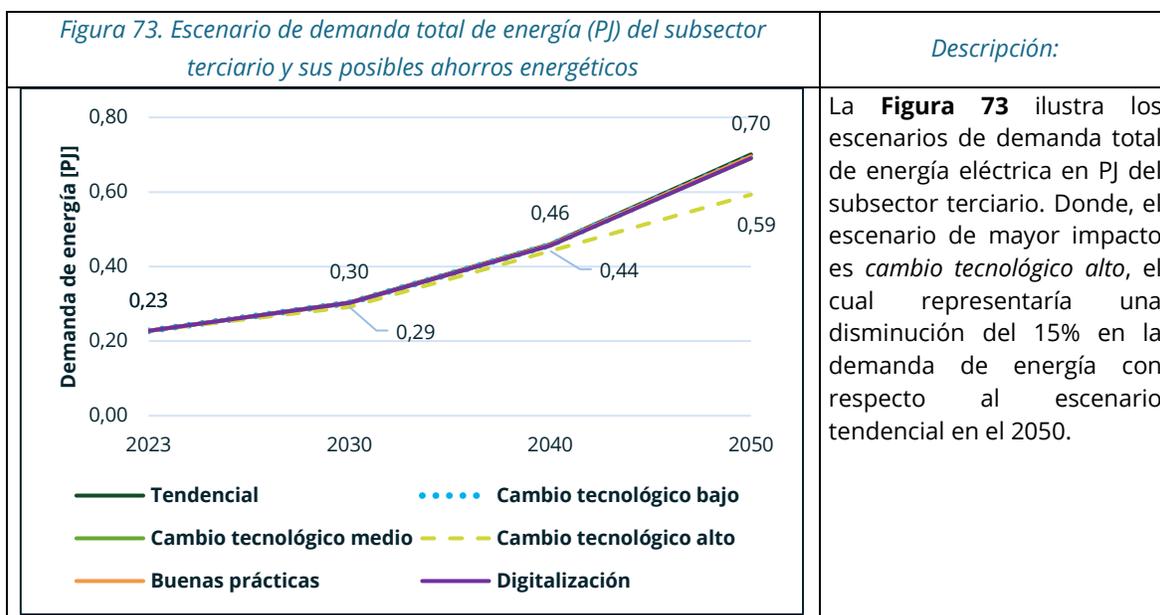
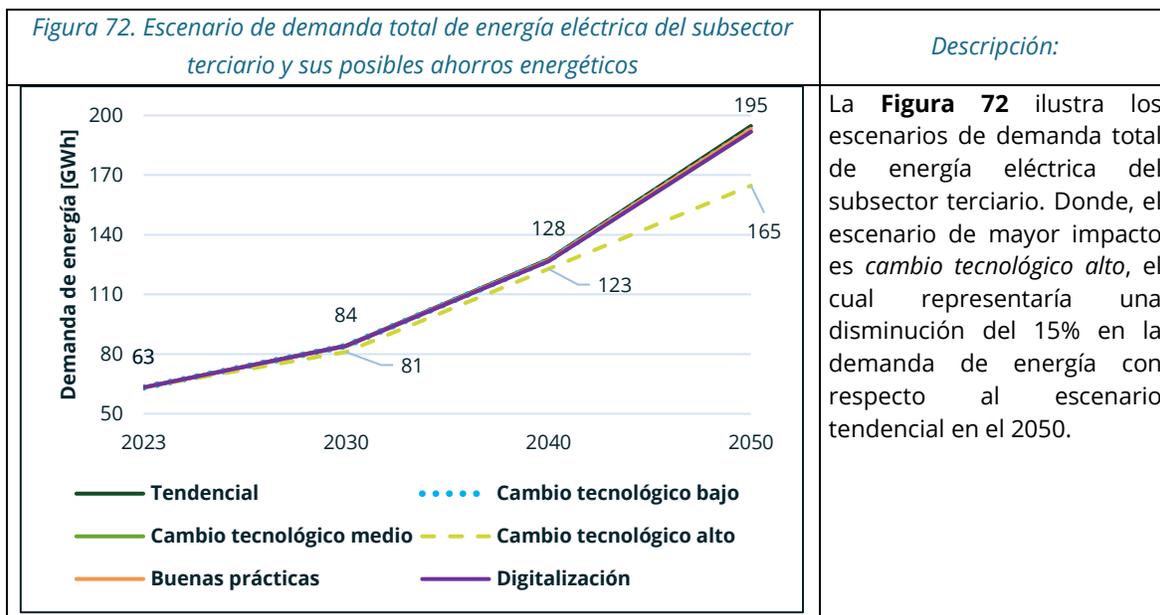
Tabla 47. Listado de estrategias identificadas para el subsector terciario

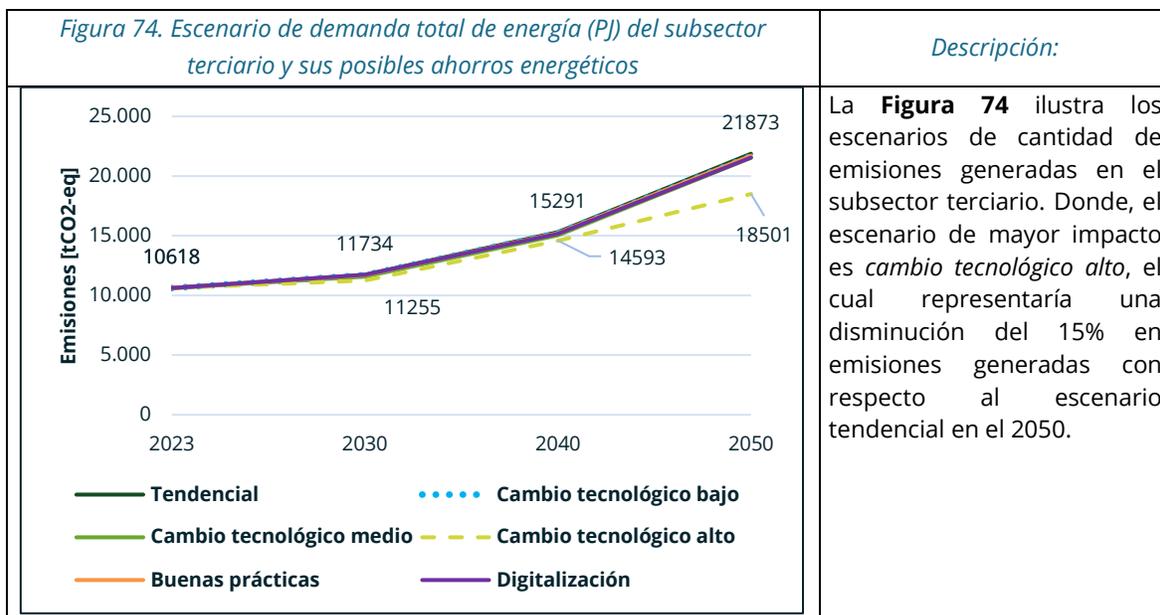
Estrategias	Escenario	Equipo	Mejora energética	Porcentaje de penetración de la estrategia		
				2030	2040	2050
Sistema con válvula de expansión electrónica.	Cambio tecnológico bajo	Unidades condensadoras	10%	20%	30%	60%
Sistema con válvula de expansión electrónica; sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100 GWP) propano.	Cambio tecnológico medio	Unidades condensadoras	20%	15%	25%	50%
Sistema con válvula de expansión electrónica; sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100 GWP) propano; compresor con variador.	Cambio tecnológico alto	Unidades condensadoras	30%	10%	10%	40%
		Autocontenidos	40%	10%	10%	40%
Ajuste y control de válvula de expansión para control del superheat y buenas prácticas	Buenas prácticas	Unidades condensadoras	5%	40%	60%	100%
Digitalización y control de sistemas.	Digitalización	Unidades condensadoras	8%	10%	30%	50%

Fuente: Elaboración propia

8.2.1.4.3. Escenarios contemplados







Respecto al sector terciario, se evidencia un impacto positivo muy significativo en la medida de cambio tecnológico alto con respecto al escenario tendencial y las otras medidas, con un ahorro en el consumo de energía eléctrica del 4% aproximadamente para el año 2040 con respecto al escenario tendencial. Teniendo en cuenta lo anterior, la medida de cambio tecnológico alto puede ser la mejor opción en términos de ahorro energético y reducción de emisiones con respecto al sector terciario en refrigeración.

8.2.1.4.4. Análisis B/C de las estrategias y/o tecnologías

Tabla 48. Evaluación costo beneficio de las estrategias y/o tecnología del subsector terciario

Nombre	Subsector	Medida	Comportamiento Energético (PJ-año)	Comportamiento Energético (TR-año)	Emisiones Evitadas (TonCo2)	Beneficio			B/C total
						B/C usuario	B/C sistema	B/C social	
Sistema con válvula de expansión electrónica	Terciario	Activa	0,520665	41.124.571	25.454,73	2,08	5,40	0,4	2,5
Compresor con variador	Terciario	Activa	1,673566	132.186.122	81.818,77	5,80	5,22	0,3	3,9
Digitalización y control de sistemas	Terciario	Activa	0,535541	42.299.559	26.182,01	0,42	6,26	1,0	0,8
Equipo de refrigeración con etiqueta eficiente	Terciario	Activa	0,885130	69.911.771	43.273,04	3,88	9,27	71,5	16,7
Puertas para gabinetes	Terciario	Activa	1,487614	117.498.775	72.727,79	0,58	5,07	0,8	1,1
Control de fugas y aislamiento en tuberías	Terciario	Activa	0,260332	20.562.286	12.727,36	0,66	5,22	0,8	1,2
Ajuste y control de válvula de expansión para control del superheat	Terciario	Activa	0,223142	17.624.816	10.909,17	1,47	6,20	0,3	1,9
Sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100GWP)	Terciario	Activa	0,812922	64.208.402	39.742,84	0,10	4,44	16,7	1,1
Recuperación de calor	Terciario	Activa	0,178514	14.099.853	8.727,34	0,25	5,22	1,2	0,5
Ventiladores y condensador con variador	Terciario	Activa	0,557855	44.062.041	27.272,92	1,00	5,22	0,6	1,8
Sistemas con componentes de alta eficiencia, paquete de compresor y condensador	Terciario	Activa	2,008279	158.623.347	98.182,52	1,08	5,22	0,3	1,6

Fuente: Elaboración propia

8.2.1.5. Residencial

La refrigeración doméstica, si bien no se encuentra clasificada bajo un código CIIU específico, hace parte de la cadena de frío de los alimentos. Esta subdivisión resulta de vital importancia para la preservación de productos perecederos en su etapa final, justo antes del consumo en los hogares.

8.2.1.5.1. Estado actual

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. Luego, estos datos se sumaron, obteniendo así la demanda total de energía (ver **volumen 2**). Las neveras catalogadas como existentes se discriminaron según su antigüedad, lo 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

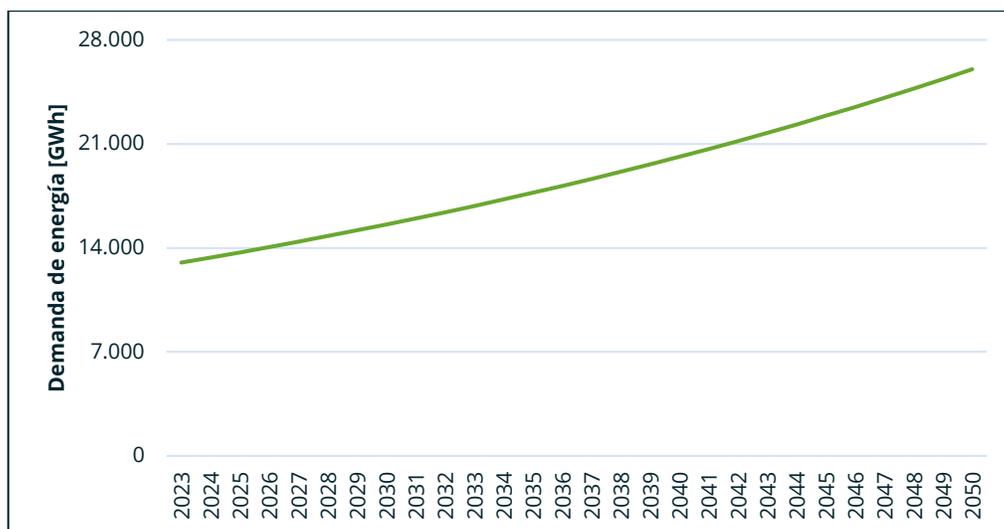
El consumo de energía eléctrica para el 2023 en refrigeración en el área residencial se presenta en la **Tabla 49**. La **Figura 75** ilustra la proyección de este consumo, considerando un incremento anual del 1,4%. De acuerdo con estas estimaciones, se anticipa que la demanda energética llegará a 15.576 GWh para el año 2030. Siguiendo esta tendencia, se espera que el consumo continúe aumentando hasta alcanzar los 26.026 GWh en 2050.

Tabla 49. 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 75. Demanda de energía eléctrica proyectada 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 de partir de los refrigerantes calculados y considerar su GWP para las emisiones directas. Mientras que, las indirectas se calculan con las específicas y el inventario.

Demanda satisfecha

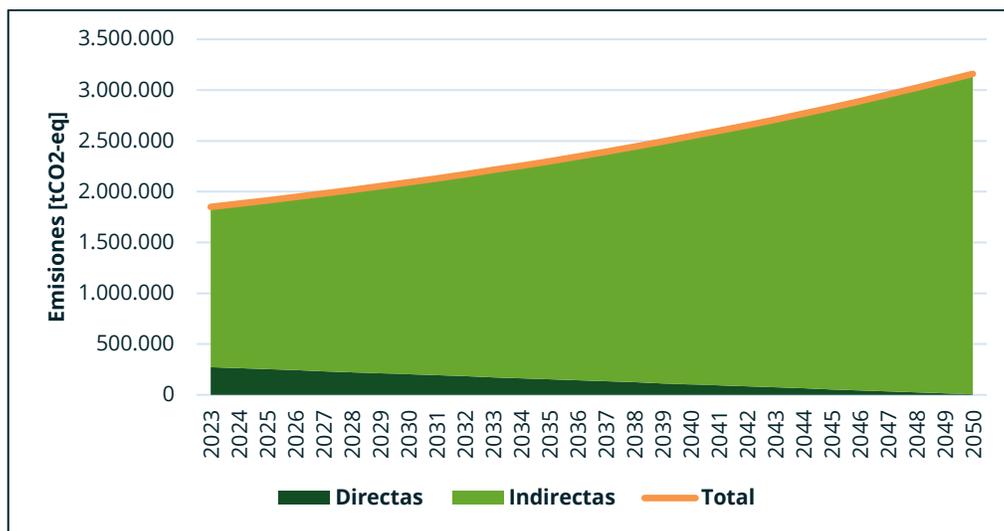
La **Tabla 50** muestra las emisiones de CO₂ equivalente calculadas para el año 2023 en el sector de refrigeración doméstica. Complementariamente, la **Figura 76** ilustra la proyección de estas emisiones totales, asumiendo un crecimiento anual del 0,9%. Según estas, se anticipa que las emisiones alcanzarán 2.090.998 tCO₂-eq y 3.159.600 tCO₂-eq para 2030 y 2050.

Tabla 50. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 para cadena de frío en alimentos- refrigeración doméstica

Sector	Emisiones directas [tCO ₂ -eq]	Emisiones indirectas [tCO ₂ -eq]	Emisiones totales [tCO ₂ -eq]
Transporte refrigerado	272.303	1.577.511	1.849.814

Fuente: Elaboración propia

Figura 76. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en alimentos-refrigeración doméstica



Fuente: Elaboración propia

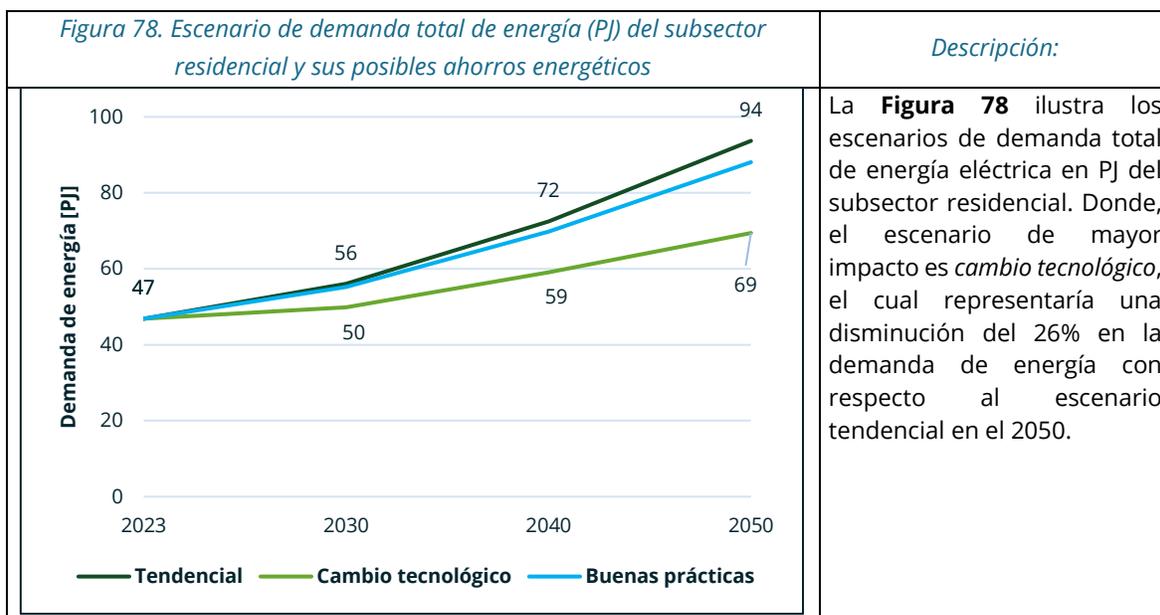
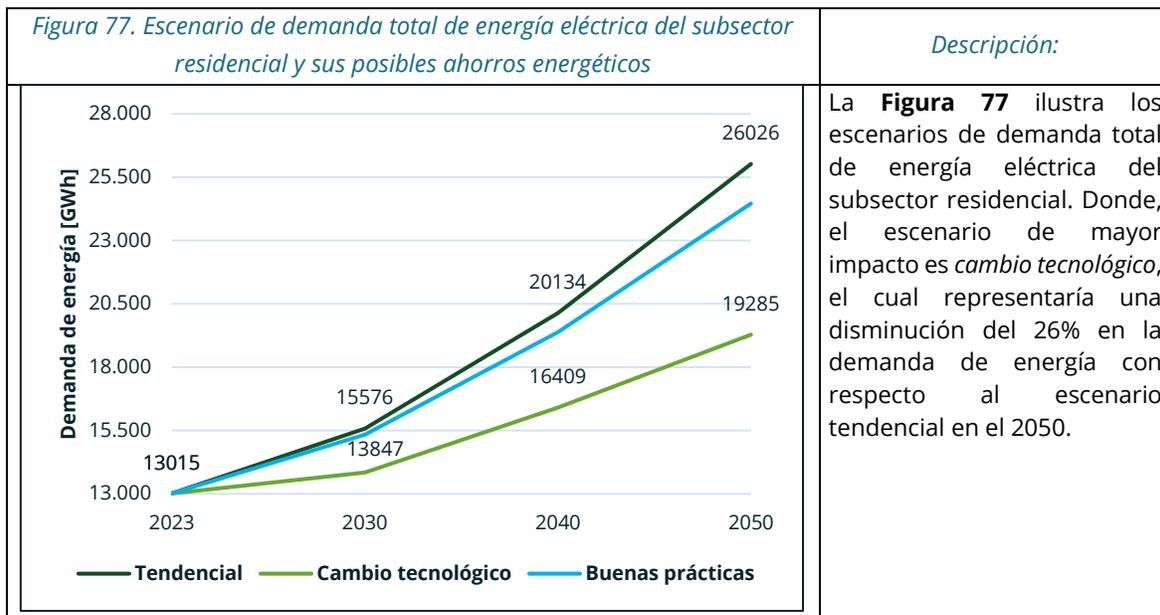
8.2.1.5.2. Estrategias y/o tecnologías identificadas

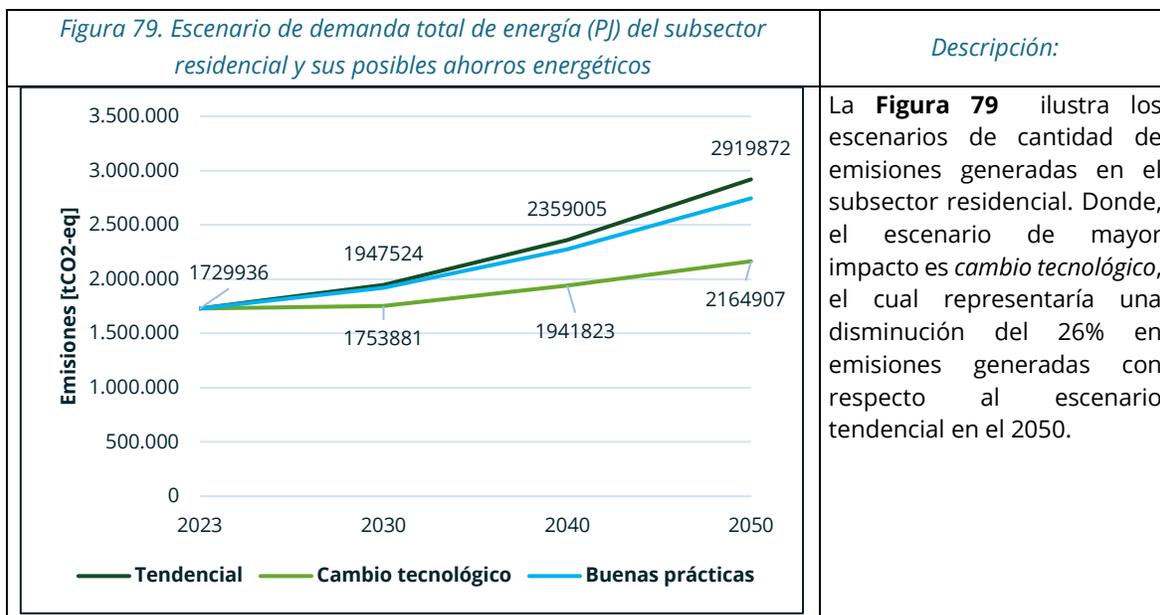
Tabla 51. Listado de estrategias identificadas para el subsector de residencial

Estrategias	Escenario	Equipo	Mejora energética	Porcentaje de penetración de la estrategia		
				2030	2040	2050
Mantenimiento adecuado, buena hermeticidad y ajuste óptimo del termostato.	Buenas prácticas	Neveras	7,5%	20%	50%	80%
Equipo de refrigeración eficiente etiqueta A.	Cambio tecnológico	Neveras	37%	30%	50%	70%

Fuente: Elaboración propia

8.2.1.5.3. Escenarios contemplados





En cuanto al sector residencial en refrigeración, el 100% del parque tecnológico se compone de neveras según los datos obtenidos, por lo que, dado que las neveras no pueden modificarse sino solo usarse de correcta manera o cambiarse, evidentemente el escenario más significativo es el cambio tecnológico de las neveras a la etiqueta más eficiente (etiqueta A) logrando reducir hasta un 18% el consumo de energía con respecto al escenario tendencial para el año 2040 a nivel nacional.

8.2.1.5.4. Análisis B/C de las estrategias y/o tecnologías

Tabla 52. Evaluación costo beneficio de las estrategias y/o tecnología del subsector residencial

Nombre	Subsector	Medida	Comportamiento Energético (PJ-año)	Comportamiento Energético (TR-año)	Emisiones Evitadas (TonCo2)	Beneficio			B/C total
						Usuario	Sistema	Sociedad	
Nevera Etiquetado A	Residencial	Activa	173,226052	13.682.211.593	8.468.829,21	3,67	7,09	8,8	0,0
Mantenimiento adecuado, buena hermeticidad y ajuste óptimo del termostato	Residencial	Activa	0,000000	0	0,00	1,72	0,09	1,5	0,1

Fuente: Elaboración propia

8.2.1.6. Transporte refrigerado

El transporte refrigerado, clasificado bajo el CIU 49 (ver **Tabla 53**), es un componente transversal en la cadena de frío de alimentos, presente en múltiples etapas del proceso logístico. Su importancia radica en garantizar el control térmico durante el traslado de productos perecederos.

Tabla 53. Descripción códigos CIIU de cadena de frío en alimentos – transporte refrigerado

División	Clase	Descripción
49	---	Transporte terrestre; transporte por tuberías
	4923	Transporte de carga por carretera

Fuente: Adaptado de (Cámara de Comercio de Bogotá, 2020)

8.2.1.6.1. Estado actual

Demanda energética (combustible)

Partiendo del inventario, se procedió a calcular la demanda de combustible 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.

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

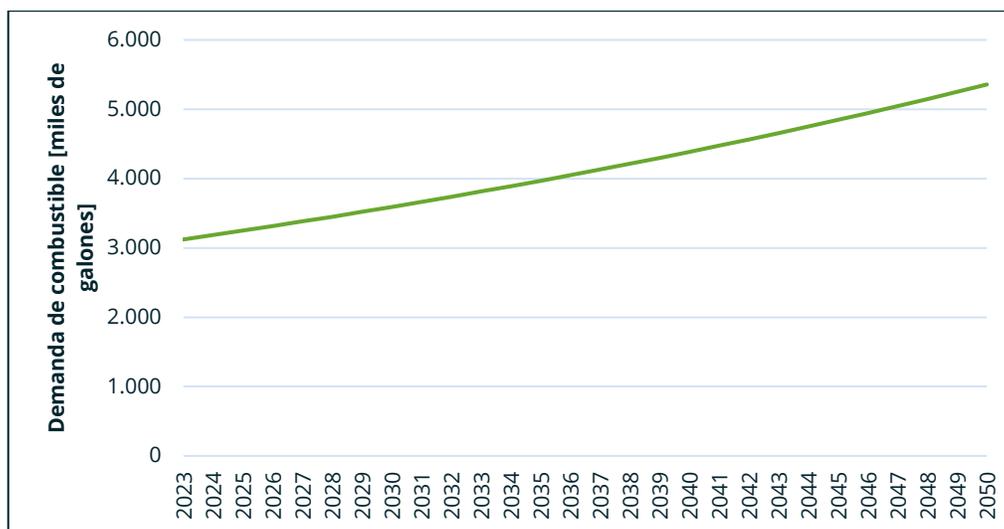
La demanda de combustible del transporte refrigerado se presenta en la **Tabla 54** para el año 2023. La **Figura 80** muestra la proyección de este consumo, considerando un aumento anual del 2%. Según estas estimaciones, se prevé que la demanda en estos sectores alcanzará los 3.591 miles de galones para 2030 y 5.357 miles de galones para 2050, respectivamente.

Tabla 54. 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 80. Demanda de energía eléctrica proyectada 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**.

Demanda satisfecha

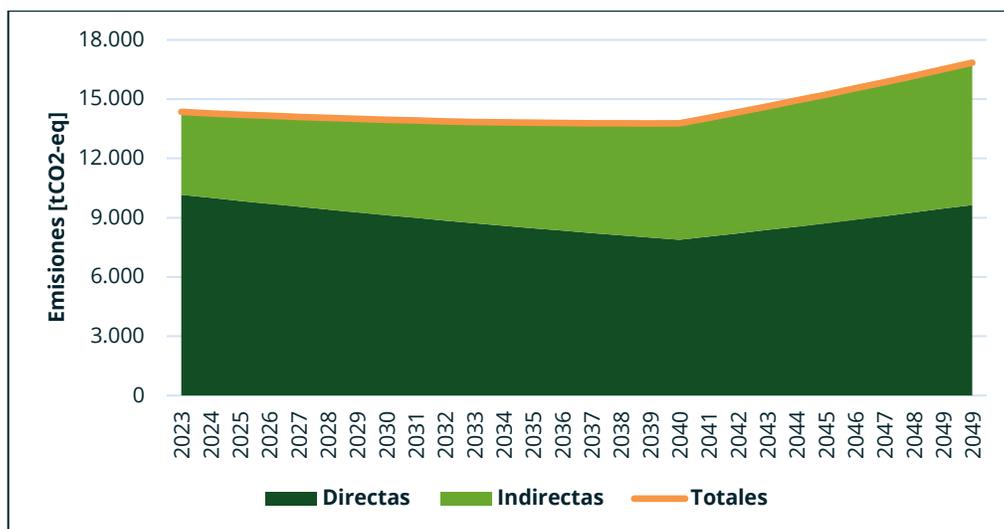
Las emisiones de CO₂ equivalente estimadas para transporte refrigerado en 2023 se presentan en la **Tabla 55**. La **Figura 81**, por su parte, ofrece una visualización de proyección de estas emisiones totales. De acuerdo con estas previsiones, se espera que las emisiones en este sector disminuyan levemente a 13.95 tCO₂-eq en 2030, y luego del 2040 aumenten hasta 16.846 tCO₂-eq para el año 2050. Esta proyección muestra una disminución leve de las emisiones hacia 2040, debido a la reducción del refrigerante R-404A. Posteriormente, se observa un incremento en las emisiones, ya que el refrigerante sustituto (R-452A) se mantiene constante y el inventario continúa en aumento.

Tabla 55. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 para cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado

Sector	Emisiones directas [tCO ₂ -eq]	Emisiones indirectas [tCO ₂ -eq]	Emisiones totales [tCO ₂ -eq]
Transporte refrigerado	10.518	4.196	14.354

Fuente: Elaboración propia

Figura 81. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en alimentos-transporte refrigerado



Fuente: Elaboración propia

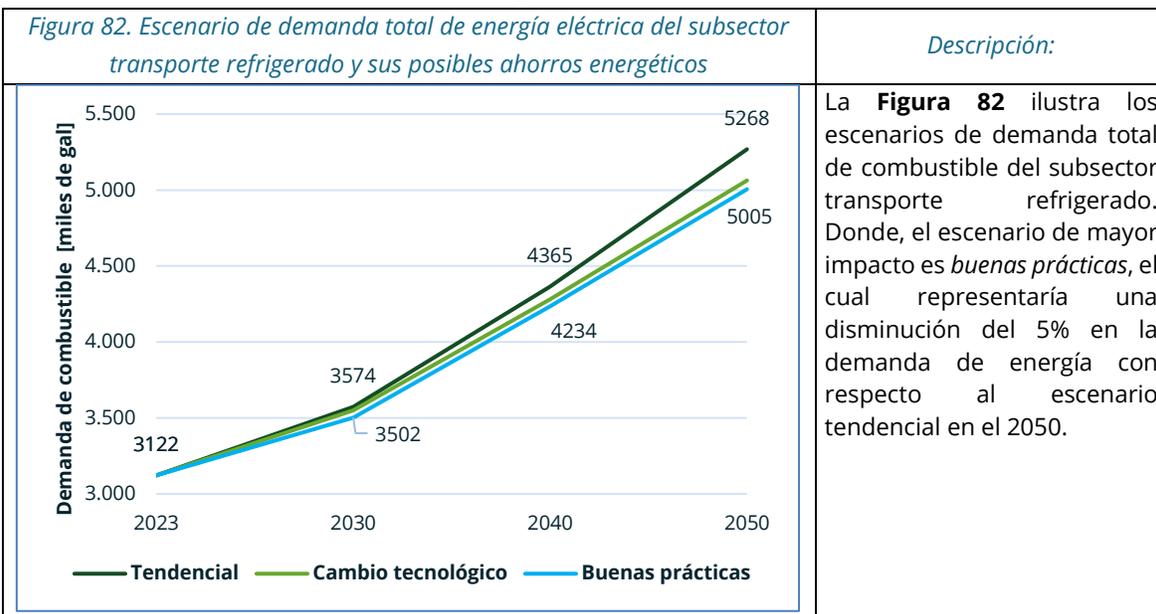
8.2.1.6.2. Estrategias y/o tecnologías identificadas

Tabla 56. Listado de estrategias identificadas para el subsector de transporte refrigerado

Estrategias	Escenario	Equipo	Mejora energética	Porcentaje de penetración de la estrategia		
				2030	2040	2050
Sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100 GWP) propano.	Cambio tecnológico	Unidades móviles y contenedores refrigerados	13%	5%	15%	30%
Ajuste y control de válvula de expansión para control del superheat y buenas prácticas.	Buenas prácticas	Unidades móviles y contenedores refrigerados	5%	40%	60%	100%

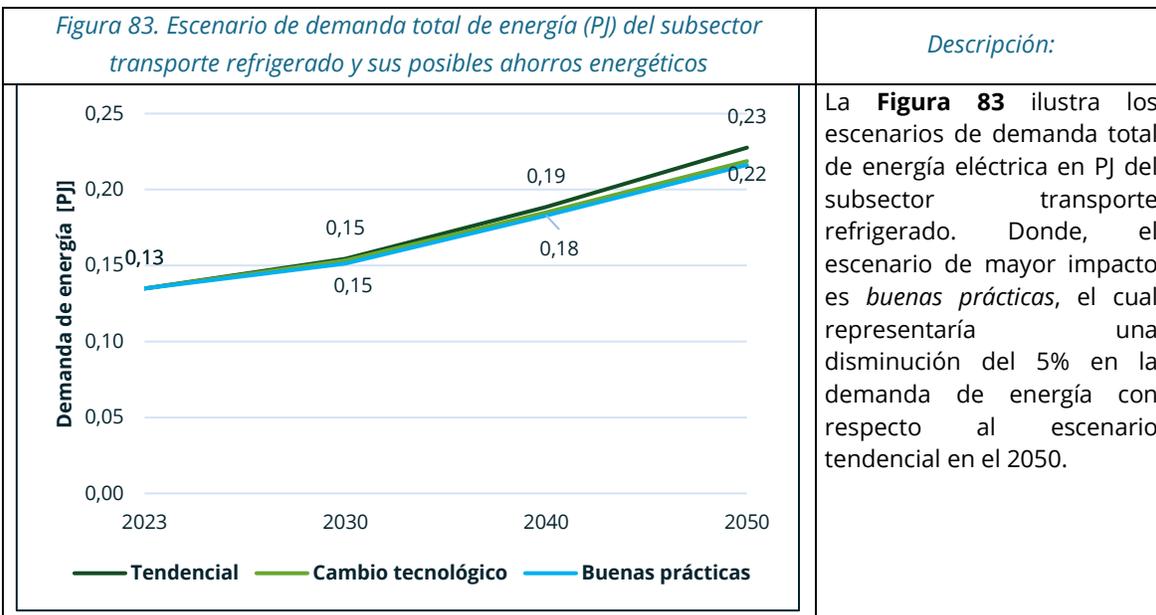
Fuente: Elaboración propia

8.2.1.6.3. Escenarios contemplados



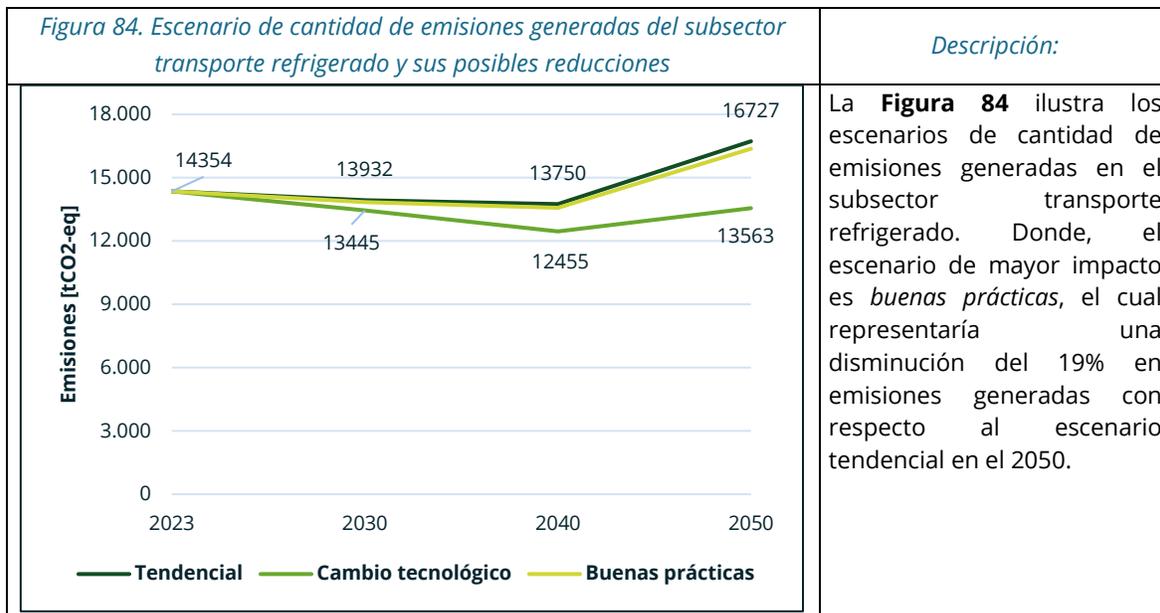
Descripción:

La **Figura 82** ilustra los escenarios de demanda total de combustible del subsector transporte refrigerado. Donde, el escenario de mayor impacto es *buenas prácticas*, el cual representaría una disminución del 5% en la demanda de energía con respecto al escenario tendencial en el 2050.



Descripción:

La **Figura 83** ilustra los escenarios de demanda total de energía eléctrica en PJ del subsector transporte refrigerado. Donde, el escenario de mayor impacto es *buenas prácticas*, el cual representaría una disminución del 5% en la demanda de energía con respecto al escenario tendencial en el 2050.



En cuanto al subsector de transporte refrigerado, se evidencia un impacto similar en las medidas de cambio tecnológico y buenas prácticas en cuanto al ahorro energético, logrando reducir el consumo de energía hasta un 2% para 2040 con respecto al escenario tendencial. Sin embargo, la medida de cambio tecnológico, teniendo en cuenta su objetivo enfocado en gases de bajo GWP, logra disminuir significativamente las emisiones generadas en transporte refrigerado con respecto a la medida de buenas prácticas o el escenario tendencial, reduciendo hasta un 9% las emisiones con respecto al escenario tendencial para el año 2040.

8.2.1.6.4. Análisis B/C de las estrategias y/o tecnologías

Tabla 57. Evaluación costo beneficio de las estrategias y/o tecnología del subsector transporte refrigerado

Nombre	Subsector	Medida	Comportamiento Energético (PJ-año)	Comportamiento Energético (TR-año)	Emisiones Evitadas (TonCo2)	Usuario	Sistema	Sociedad	B/C total
						B/C usuario	B/C sistema	B/C social	
Sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100GWP)	Transporte refrigerado	Activa	1,999280	157.912.572	97.742,58	0,25	4,85	1,3	0,6
Control de fugas y aislamiento en tuberías	Transporte refrigerado	Activa	0,143206	11.311.063	7.001,17	0,75	4,85	1,1	1,5
Ajuste y control de válvula de expansión para control del superheat	Transporte refrigerado	Activa	0,122748	9.695.197	6.001,00	0,68	4,85	2,3	1,7

Fuente: Elaboración propia

8.2.2. Cadena de frío en salud

Por otra parte, la categoría de cadena de frío en salud no requiere una subcategorización adicional, aunque es importante señalar que se encuentra clasificada dentro del código CIIU 86, correspondiente a "Actividades de atención de la salud humana". Siendo importante para la preservación de productos sanitarios y medicamentos (UN ESCAP, 2021).

8.2.2.1. Estado actual

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

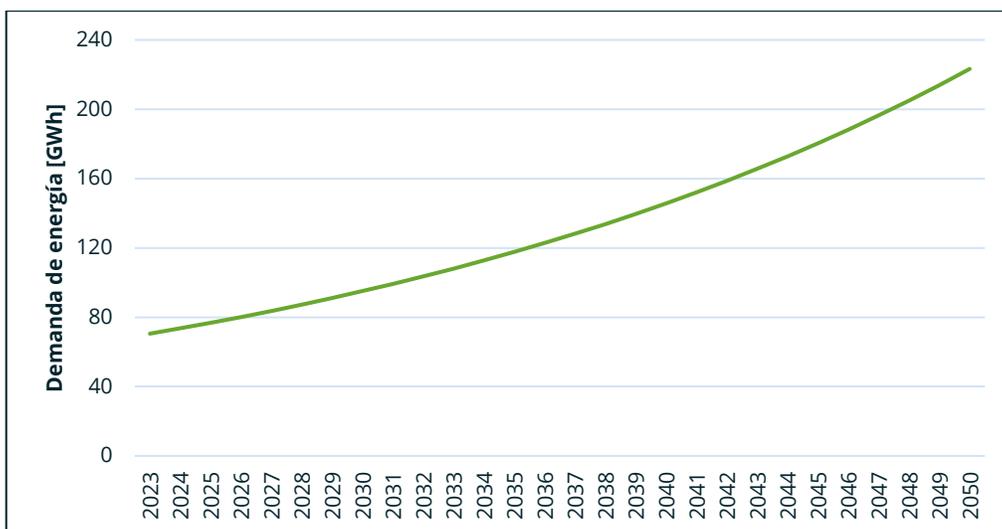
La **Tabla 58** muestra el uso de electricidad para refrigeración en la cadena de frío en salud al 2023. La evolución de este consumo se visualiza en la **Figura 85**, con una tasa crecimiento anual del 4,4%. Los cálculos indican que el requerimiento energético en estos sectores alcanzará 95 GWh en 2030. De mantenerse esta progresión, se prevé que llegará a 223 GWh en 2050.

Tabla 58. Demanda energética 2023 para cadena de frío en salud

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

Fuente: Elaboración propia

Figura 85. Demanda de energía eléctrica proyectada 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 la cantidad de refrigerante. Este cálculo incorporó los valores de GWP de cada uno. Además, se incluyeron las emisiones indirectas resultantes del consumo energético de los equipos.

Demanda satisfecha

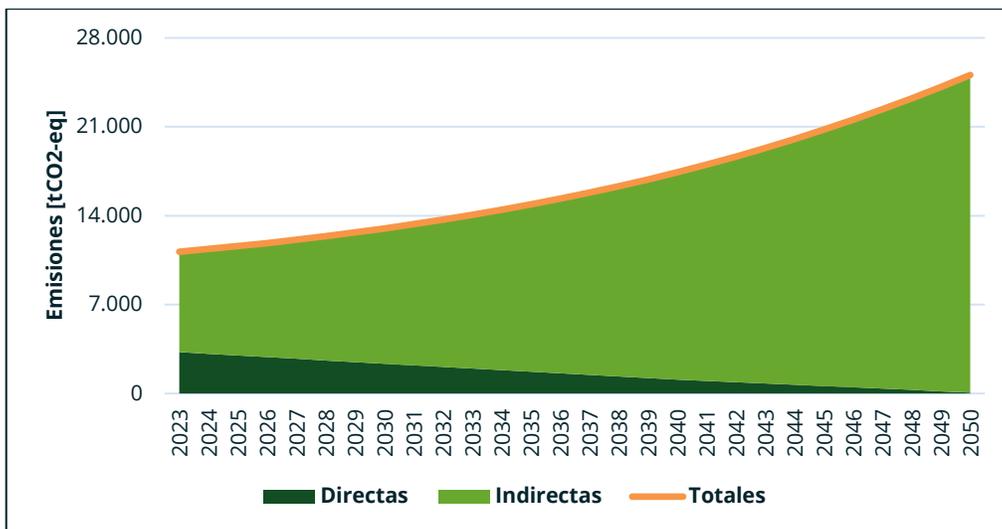
Las emisiones de CO₂ equivalente por equipos de refrigeración en el sector de salud para 2023 se encuentran en la **Tabla 59**. Por otro lado, la **Figura 86** proyecta las emisiones totales con una tasa de crecimiento anual del 3%, lo que aumentará las emisiones a 12.992 tCO₂-eq en 2030 y 25.078 tCO₂-eq para el año 2050.

Tabla 59. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 para cadena de frío en salud

Sector	Emisiones directas [tCO ₂ -eq]	Emisiones indirectas [tCO ₂ -eq]	Emisiones totales [tCO ₂ -eq]
Actividades de atención de la salud humana (CIU 86)	3.262	7.900	11.161

Fuente: Elaboración propia

Figura 86. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en salud



Fuente: Elaboración propia

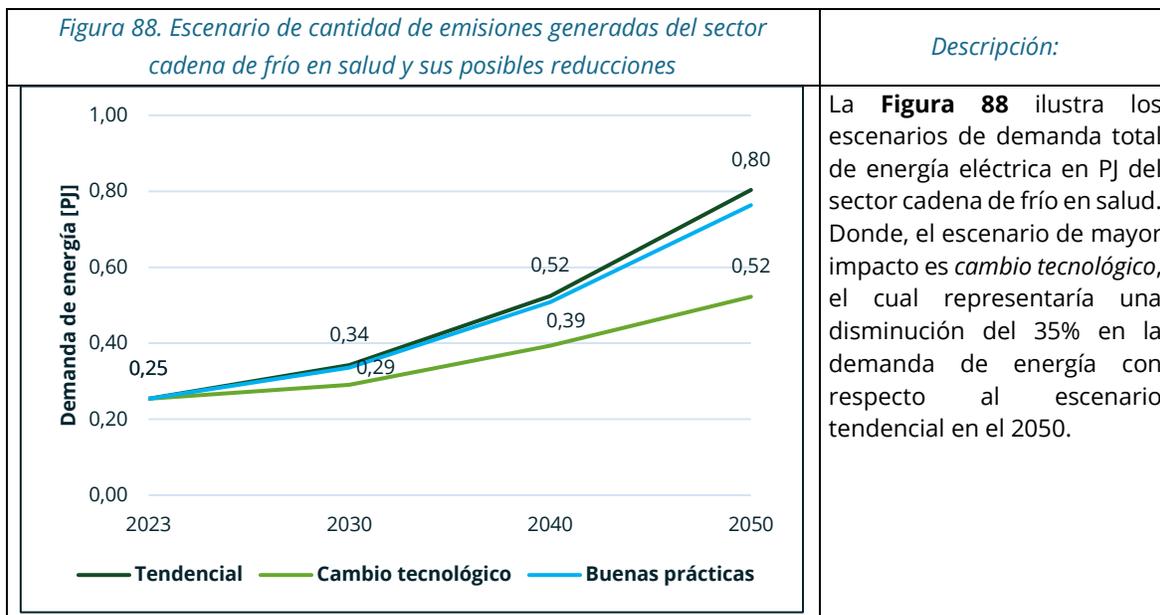
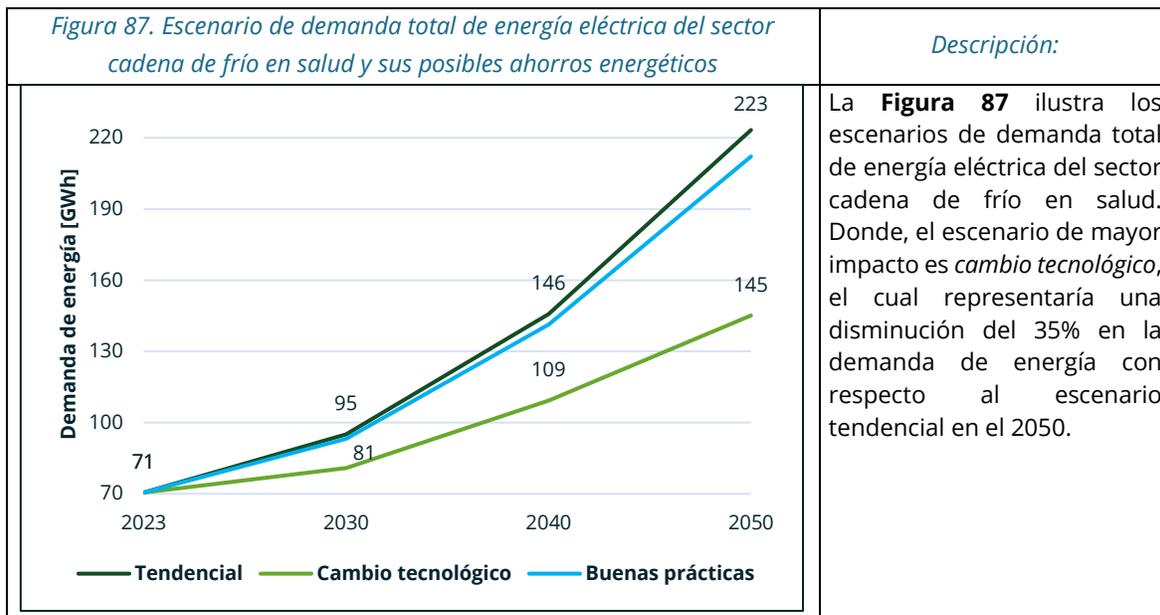
8.2.2.2. Estrategias y/o tecnologías identificadas

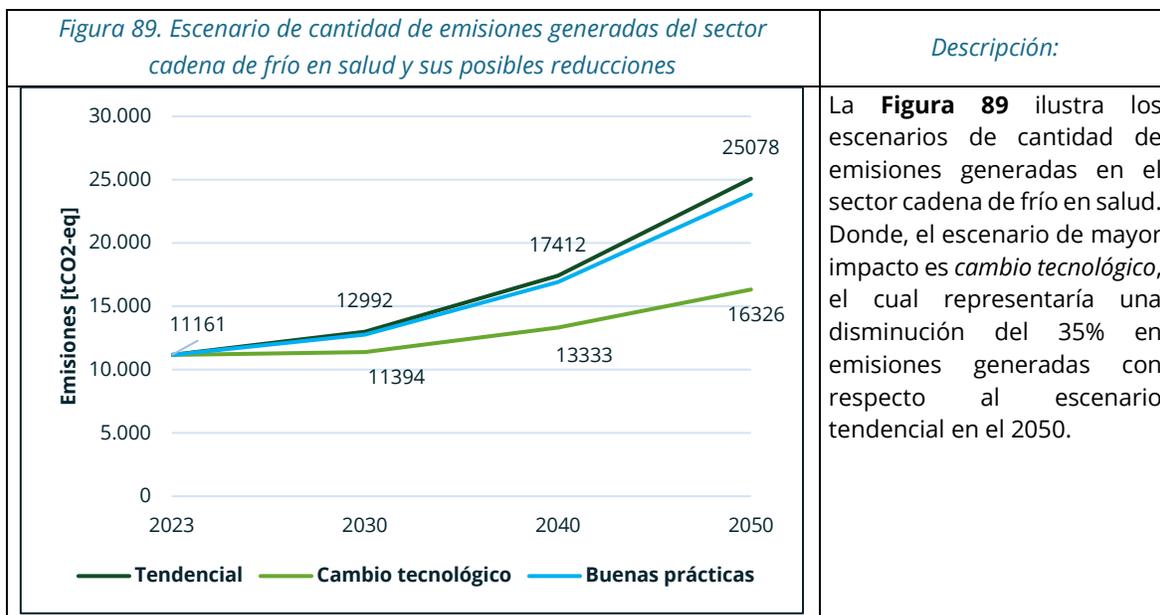
Tabla 60. Listado de estrategias identificadas para el sector cadena de frío en salud

Estrategias	Escenario	Equipo	Mejora energética	Porcentaje de penetración de la estrategia		
				2030	2040	2050
Buenas prácticas.	Buenas prácticas	Autocontenidos	5%	40%	60%	100%
Equipo de refrigeración con etiqueta eficiente.	Cambio tecnológico	Autocontenidos	50%	30%	50%	70%

Fuente: Elaboración propia

8.2.2.3. Escenarios contemplados





Respecto al sector de cadena de frío en salud, se evidencia un impacto positivo muy significativo en la medida de cambio tecnológico con respecto al escenario tendencial y buenas prácticas, con un ahorro en el consumo de energía eléctrica del 23% aproximadamente para el año 2040 con respecto al escenario tendencial. Esto sucede principalmente porque el parque tecnológico del sector de salud se compone en su totalidad de autocontenidos según el diagnóstico Nacional realizado. Teniendo en cuenta lo anterior, la medida de cambio tecnológico (equipos autocontenidos con la mayor eficiencia del mercado) puede ser la mejor opción en términos de ahorro energético y reducción de emisiones con respecto al sector terciario en refrigeración.

8.2.2.4. Análisis B/C de las estrategias y/o tecnologías

Tabla 61. Evaluación costo beneficio de las estrategias y/o tecnología del sector cadena de frío en salud

Nombre	Subsector	Medida	Comportamiento Energético (PJ-año)	Comportamiento Energético (TR-año)	Emisiones Evitadas (TonCo2)	Usuario		Sistema		Sociedad		B/C total
						B/C usuario	B/C sistema	B/C social	B/C social			
Sistema con válvula de expansión electrónica	Cadena de frío salud	Activa	0,596350	47.102.516	29.154,87	1,10	4,25		0,6		4,0	
Compresor con variador	Cadena de frío salud	Activa	1,277892	100.933.963	62.474,73	3,79	8,50		0,3		4,2	
Digitalización y control de sistemas	Cadena de frío salud	Activa	0,613388	48.448.302	29.987,87	0,41	4,25		1,0		3,3	
Sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100GWP)	Cadena de frío salud	Activa	0,931090	73.541.855	45.519,94	0,20	6,28		3,2		0,5	
Recuperación de calor	Cadena de frío salud	Activa	0,204463	16.149.434	9.995,96	0,25	6,28		1,2		0,4	
Control de fugas y aislamiento en tuberías	Cadena de frío salud	Activa	0,298175	23.551.258	14.577,44	0,64	6,28		0,8		1,0	
Ajuste y control de válvula de expansión para control del superheat	Cadena de frío salud	Activa	0,255578	20.186.793	12.494,95	0,73	23,92		0,3		0,8	
Sistemas con componentes de alta eficiencia, paquete de compresor y condensador	Cadena de frío salud	Activa	2,300206	181.681.134	112.454,52	0,69	6,28		0,7		1,1	
Ventiladores y condensador con variador	Cadena de frío salud	Activa	0,638946	50.466.982	31.237,37	0,57	6,28		0,8		1,0	

Fuente: Elaboración propia

8.2.3. Procesos industriales

La categoría de procesos industriales engloba diversos sectores de la industria, excluyendo alimentos y bebidas, que han sido previamente categorizados. Dentro de esta clasificación se incluyen los códigos CIU 139, 20, 22 y 26, como se detalla en la **Tabla 62**. Estos sectores presentan una demanda significativa de refrigeración en diversos procesos, tales como el almacenamiento de sustancias, la refrigeración de equipos y maquinaria (Corporación EMA, 2014).

Tabla 62. Descripción códigos CIU de procesos industriales

División	Grupo	Descripción
13	---	Fabricación de productos textiles
	139	Fabricación de otros productos textiles
20	---	Fabricación de sustancias y productos químicos
22	---	Fabricación de productos de caucho y de plástico
26	---	Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos

Fuente: Adaptado de (Cámara de Comercio de Bogotá, 2020)

8.2.3.1. Estado actual

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

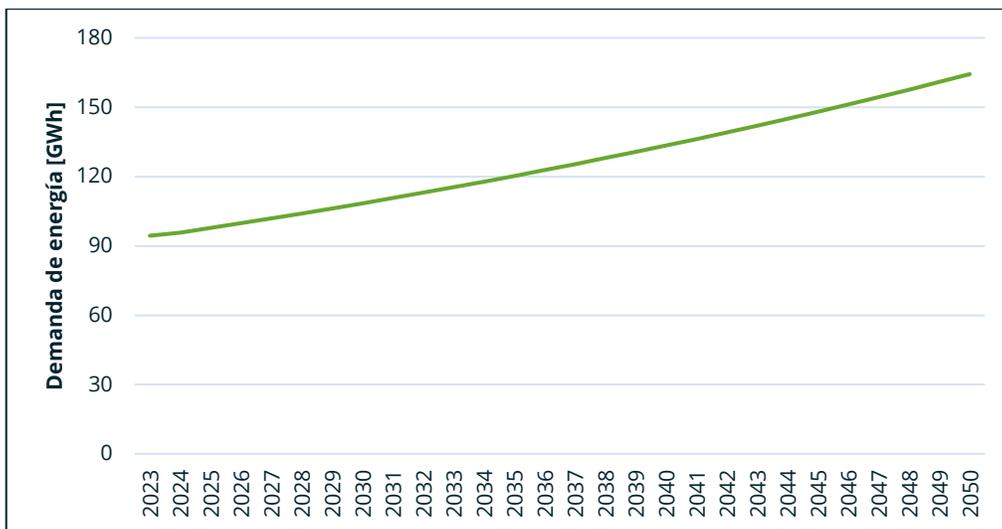
La **Tabla 63** detalla el uso de electricidad para refrigeración en la categoría de procesos industriales para 2023. La evolución de este consumo se presenta en la **Figura 90**, a una tasa de crecimiento anual del 2,1%. Los cálculos sugieren que la demanda energética en estos sectores alcanzará los 108 GWh y 164 GWh para 2030 y 2050.

Tabla 63. 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 90. Demanda de energía eléctrica proyectada 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**.

Demanda satisfecha

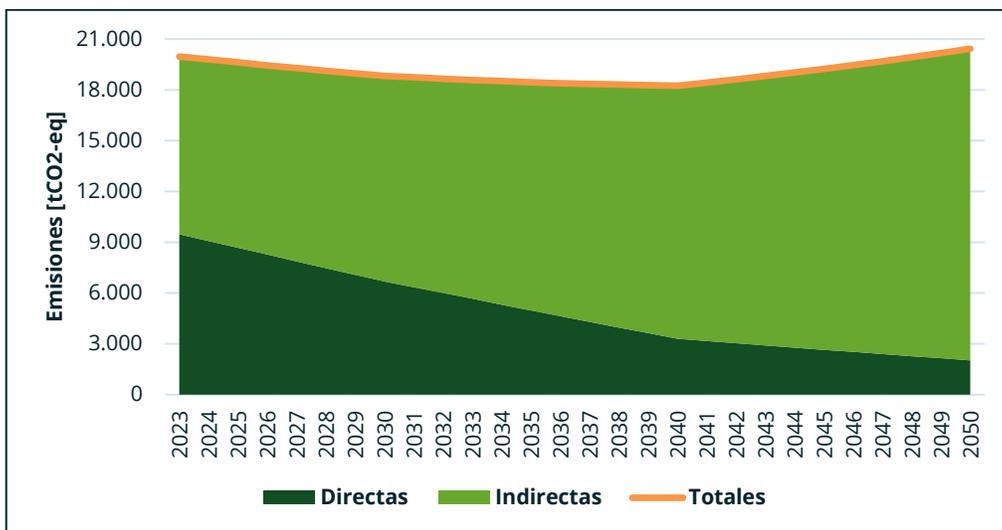
La **Tabla 64** muestra cuánto CO₂ equivalente producen los equipos de refrigeración en procesos industriales en 2023. La **Figura 91** indica cómo crecerán estas emisiones totales. Se espera que lleguen a 18.826 tCO₂-eq en 2030 y a 20.427 tCO₂-eq en 2050. Esta proyección presenta una tendencia parabólica debido a la sustitución de todos los refrigerantes por opciones A2L. Sin embargo, el incremento simultáneo en el inventario contribuye a este comportamiento en la curva.

Tabla 64. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 para procesos industriales

Sector	Emisiones directas [tCO ₂ -eq]	Emisiones indirectas [tCO ₂ -eq]	Emisiones totales [tCO ₂ -eq]
Fabricación de otros productos textiles (CIU 139)	57	46	103
Fabricación de sustancias y productos químicos (CIU 20)	2.582	2.809	5.391
Fabricación de productos de caucho y de plástico (CIU 22)	6.776	7.409	14.185
Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos (CIU 26)	54	242	296
Total	9.469	10.506	19.975

Fuente: Elaboración propia

Figura 91. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para procesos industriales



Fuente: Elaboración propia

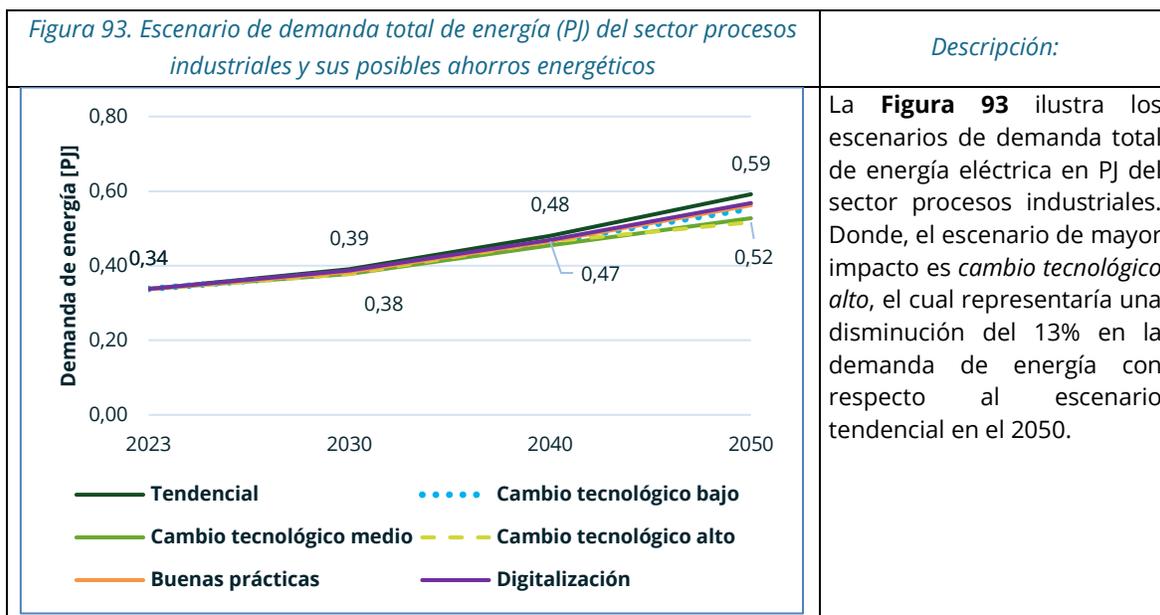
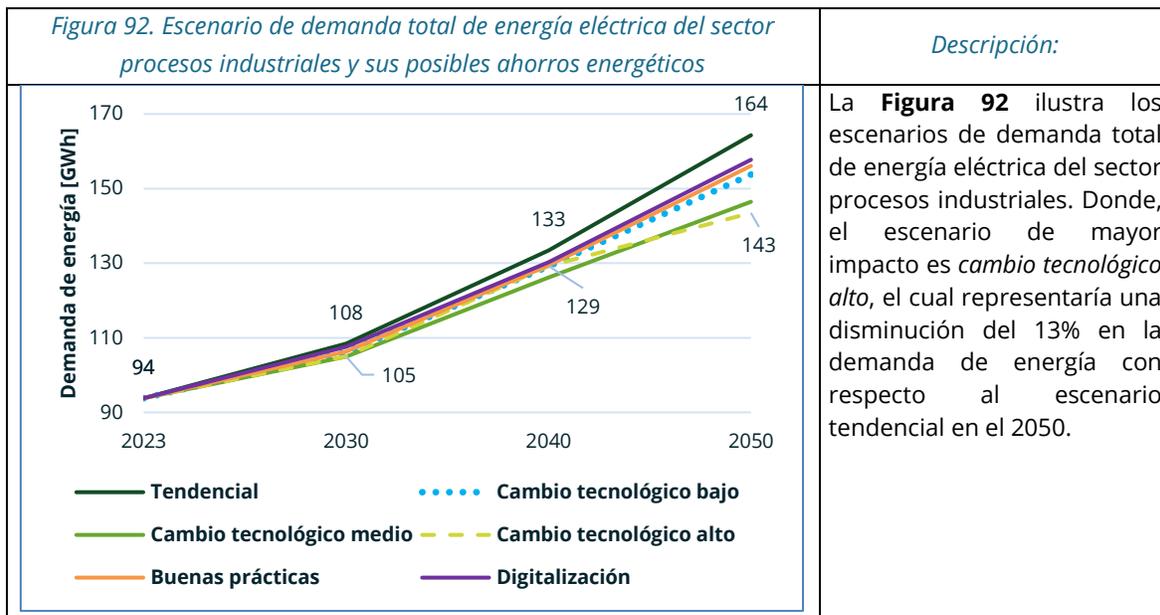
8.2.3.2. Estrategias y/o tecnologías identificadas

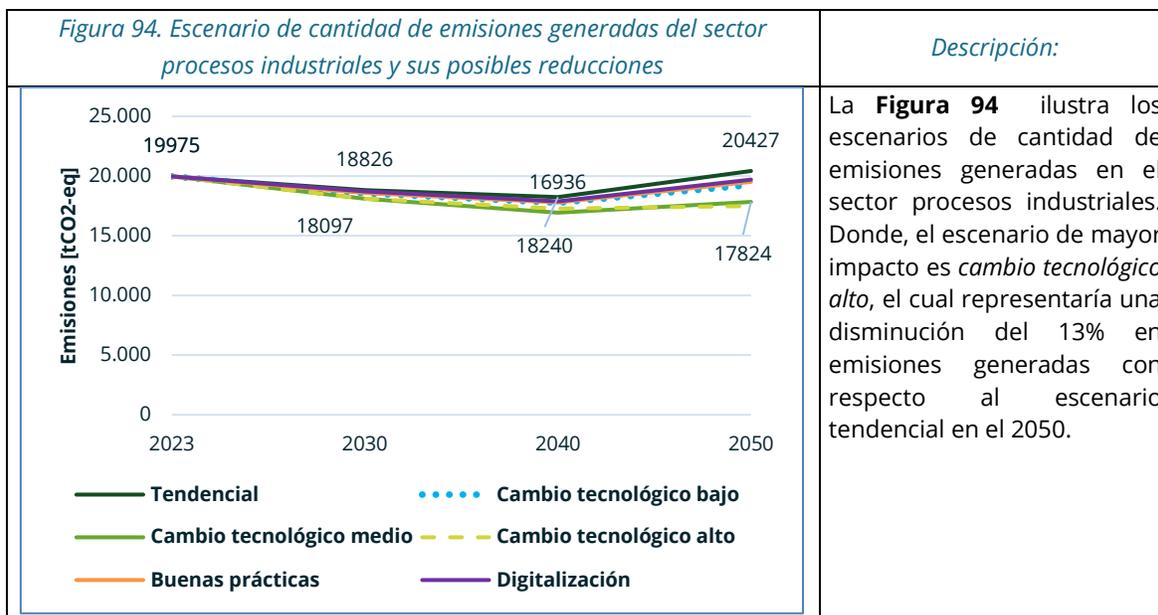
Tabla 65. Listado de estrategias identificadas para el sector procesos industriales

Estrategias	Escenario	Equipo	Mejora energética	Porcentaje de penetración de la estrategia		
				2030	2040	2050
Recuperación de calor; sistema con válvula de expansión electrónica.	Cambio tecnológico bajo	Chiller	12%	20%	30%	60%
Sistema con válvula de expansión electrónica.		Unidades condensadoras	10%	20%	30%	60%
Recuperación de calor; sistema con válvula de expansión electrónica; ventiladores y condensador con variador; sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100 GWP) propano.	Cambio tecnológico medio	Chiller	25%	15%	25%	50%
Sistema con válvula de expansión electrónica; sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100 GWP) propano		Unidades condensadoras	20%	15%	25%	50%
Recuperación de calor; sistema con válvula de expansión electrónica; ventiladores y condensador con variador; sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100 GWP) propano; compresor con variador	Cambio tecnológico alto	Chiller	35%	10%	10%	40%
Sistema con válvula de expansión electrónica; sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100 GWP) propano; compresor con variador		Unidades condensadoras	30%	10%	10%	40%
Ajuste y control de válvula de expansión para control del superheat y buenas prácticas.	Buenas prácticas	Unidades condensadoras y chilles	5%	40%	60%	100%
Digitalización y control de sistemas.	Digitalización	Unidades condensadoras y chilles	8%	10%	30%	50%

Fuente: Elaboración propia

8.2.3.3. Escenarios contemplados





Respecto al sector de procesos industriales, teniendo en cuenta que el 92% (en TR) de su parque tecnológico está compuesto por chillers, las medidas de cambio tecnológico tienen un gran impacto sobre dichos equipos teniendo en cuenta su gran grado de aplicabilidad, alcanzando en el escenario de mayor impacto un 13% de reducción de consumo de energía eléctrica con respecto al escenario tendencial. Teniendo en cuenta lo anterior, según los escenarios se podría prever hasta un 3% creciente de ahorro energético para el año 2040 con respecto a modernización alta.

8.2.3.4. Análisis B/C de las estrategias y/o tecnologías

Tabla 66. Evaluación costo beneficio de las estrategias y/o tecnología del sector procesos industriales

Nombre	Subsector	Medida	Comportamiento Energético (PJ-año)	Comportamiento Energético (TR-año)	Emisiones Evitadas (TonCo2)	Usuario	Sistema	Sociedad	B/C total
						B/C usuario	B/C sistema	B/C social	
Sistema con válvula de expansión electrónica	Procesos industriales	Activa	0,719266	56.811.052	35.164,13	1,94	4,43	0,5	3,4
Compresor con variador	Procesos industriales	Activa	1,541285	121.737.969	75.351,71	1,10	4,28	0,6	3,7
Digitalización y control de sistemas	Procesos industriales	Activa	0,739817	58.434.225	36.168,82	0,25	4,28	1,3	1,3
Enfriador 1 - Por aire	Procesos industriales	Activa	3,660552	289.127.677	178.960,32	0,31	4,62	9,3	1,8
Enfriador 2 - Imán permanente	Procesos industriales	Activa	5,020801	396.566.586	245.461,39	0,31	4,62	10,5	1,9
Control de fugas y aislamiento en tuberías	Procesos industriales	Activa	0,359633	28.405.526	17.582,07	0,32	5,14	1,2	0,5
Ajuste y control de válvula de expansión para control del superheat	Procesos industriales	Activa	0,308257	24.347.594	15.070,34	1,42	4,56	0,4	2,7
Sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100GWP)	Procesos industriales	Activa	5,020801	396.566.586	245.461,39	0,19	4,62	12,6	1,9
Recuperación de calor	Procesos industriales	Activa	0,246606	19.478.075	12.056,27	0,20	5,14	1,3	0,3
Ventiladores y condensador con variador	Procesos industriales	Activa	0,770643	60.868.985	37.675,86	0,55	5,14	0,8	1,2
Sistemas con componentes de alta eficiencia, paquete de compresor y condensador	Procesos industriales	Activa	2,774313	219.128.345	135.633,08	0,80	5,33	0,7	1,6

Fuente: Elaboración propia

9. Nuevos modelos de negocio

A partir del análisis de la situación actual de las entidades del sector público y privado en Colombia, se identificaron tres modelos de contratación actuales para la climatización en Colombia:

- Tradicional: las entidades públicas o privadas son propietarias de los equipos de climatización.
- Arrendamiento: se arriendan los equipos, pero se sigue pagando el consumo de energía.
- Servicio de climatización en edificación alquilada: hay un servicio de climatización previamente instalado en la edificación que se toma en arriendo y por el cual se paga el servicio de energía y mantenimiento.

9.1. Cooling As a Service

El modelo de servicio de enfriamiento como servicio (CAAS, por sus siglas en inglés) representa un enfoque innovador en la gestión de sistemas de refrigeración. En lugar de que los propietarios de edificios y empresas realicen inversiones significativas en infraestructura para el enfriamiento, optan por contratar un servicio especializado que proporciona este recurso esencial. Este modelo elimina la necesidad de gastos de capital iniciales y permite que las empresas destinen sus recursos financieros a otras prioridades estratégicas, mientras disfrutan de un sistema de enfriamiento eficiente y confiable.

Una de las principales características del CAAS es que el proveedor de tecnología asume la propiedad total del sistema de enfriamiento, lo que incluye la instalación, el mantenimiento y todos los costos operativos, como el consumo eléctrico. Los clientes efectúan pagos periódicos basados en el uso medido del servicio, lo que proporciona un costo fijo por unidad. Este esquema de pago elimina los riesgos asociados con el desempeño del equipo, ya que cualquier problema técnico o disminución en la eficiencia es responsabilidad del proveedor. Además, al estar motivado por la rentabilidad, el proveedor selecciona equipos con el costo de ciclo de vida más bajo, asegurando tanto sostenibilidad como eficiencia operativa.

Desde la perspectiva de los clientes, este modelo le brinda acceso a tecnología de enfriamiento avanzada sin necesidad de realizar grandes inversiones iniciales. También garantiza un servicio de alta calidad a precios competitivos, lo que mejora la previsibilidad de los costos operativos y permite planificar presupuestos con mayor precisión. Por otro lado, los proveedores de tecnología obtienen un flujo de ingresos recurrentes, lo que fortalece la estabilidad financiera del negocio. Además, esta relación contractual fomenta asociaciones a largo plazo entre clientes y proveedores, impulsando mejoras continuas y actualizaciones tecnológicas que benefician a ambas partes. (CAAS, 2024)

9.2. Renting

El renting de equipos es un servicio de alquiler a largo plazo de equipos tecnológicos, como software, dispositivos móviles, ordenadores, entre otros, que se realiza mediante un contrato de arrendamiento. En este caso no incluye gastos de operación o mantenimiento, se hace un contrato de arrendamiento por un plazo específico. Este modelo permite a las empresas acceder a tecnología moderna sin comprometer grandes sumas de capital, favoreciendo la flexibilidad financiera y operativa. Además, el renting facilita la renovación periódica del equipo, garantizando que los usuarios siempre dispongan de herramientas actualizadas y funcionales.

A diferencia de la compra directa, el renting elimina la depreciación de activos tecnológicos y permite deducir los pagos como gasto operativo, lo que puede ofrecer ventajas fiscales para las empresas. Los contratos de renting también permiten adaptar el número de dispositivos o licencias según las necesidades del negocio, brindando escalabilidad sin requerir inversiones adicionales significativas. Esto es particularmente beneficioso en sectores donde la tecnología evoluciona rápidamente y la obsolescencia es un desafío constante.

Aunque el renting no incluye gastos operativos o de mantenimiento, muchos proveedores ofrecen opciones adicionales para cubrir estas necesidades, brindando mayor tranquilidad a los clientes. Este enfoque modular permite a las empresas estructurar sus contratos de arrendamiento según sus requisitos específicos, asegurando un equilibrio entre costos, flexibilidad y acceso a tecnología avanzada. (Rentek, 2024)

9.3. Modelo de los Distritos térmicos

A partir de la RESOLUCIÓN NÚMERO 40773 DE 29 DIC 2023, que define a el Distrito térmico como: Sistema centralizado de producción y distribución de energía térmica que provee calor o frío abasteciendo a múltiples usuarios en un área común. Los productos térmicos que puede prestar un distrito térmico son i) agua para enfriamiento o calefacción (climatización), ii) agua helada, agua caliente, o vapor, para cubrir diversas necesidades en el sector comercial o industrial. La distribución se realiza a través de una red subterránea y/o elevada de tuberías aisladas térmicamente provenientes de la planta de generación. En este caso solo se paga un servicio a una central de producción de frío, sin gastos adicionales, es decir se paga en unidades de energía térmica. Según lo anterior, se entiende que el modelo de negocio de distritos térmicos tiene como objetivo principal proporcionar soluciones eficientes y sostenibles para la generación y distribución de energía térmica en áreas urbanas e industriales. Su propósito principal es optimizar el uso de recursos energéticos al centralizar la producción de calor y frío, reduciendo así el consumo energético y las emisiones de carbono. Este sistema permite suministrar energía térmica a múltiples edificios desde una planta central, mejorando la eficiencia operativa y facilitando la integración de fuentes de energía renovable. Además, los distritos térmicos promueven la descarbonización y contribuyen al desarrollo de infraestructuras energéticas más resilientes y adaptadas a las necesidades futuras. En el apartado 9.4 se menciona en más detalle las características principales de este modelo.

Es importante mencionar, que a pesar de que este ejemplo menciona únicamente entidades públicas como posibles clientes, el sector privado también podría tener acceso a dichos instrumentos debido a la estructura en el modelo de negocio.

En la siguiente tabla se presentan los esquemas operativos o modelos que pueden utilizar los proveedores del servicio al requerir capital para financiar su operación y la instalación de tecnologías en múltiples entidades.

Tabla 67. Modelos de negocio para Cooling as a service

Modelo	Descripción	Esquema
<p>Modelo 1</p> <p>Venta con arrendamiento posterior (Sale Leaseback)</p>	<p>Consiste en que el proveedor de la tecnología vende el equipo de climatización al banco o institución financiera, que luego lo arrienda al proveedor por un periodo menor al del contrato de prestación del servicio de enfriamiento que tiene con el cliente. Al finalizar el contrato con la institución financiera, la propiedad de los equipos vuelve a ser propiedad del proveedor de la tecnología.</p>	<p>Este diagrama ilustra el flujo de dinero y propiedad en un modelo de venta con arrendamiento posterior. Se muestran tres actores principales: una Institución financiera (caja azul), un Proveedor de la tecnología y el servicio (caja verde) y Entidades privadas/Entidades públicas (clientes) (caja naranja). Una caja amarilla dentro de la Institución financiera indica 'Propiedad de la tecnología'. El flujo de dinero y propiedad es el siguiente: 1. Venta de los equipos (flecha azul de la Institución al Proveedor). 2. Pago por la venta de equipos (flecha amarilla del Proveedor a la Institución). 3. Arrendamiento de los equipos (flecha azul del Proveedor a la Institución). 4. Pago por el arrendamiento de equipos (flecha amarilla de la Institución al Proveedor). 5. Prestación de servicio de enfriamiento (flecha azul del Proveedor a los Clientes). 6. Pago por el servicio de enfriamiento (flecha amarilla de los Clientes al Proveedor).</p>
	<p>Se considera que una alternativa puede incluir como parte del esquema a una utility (empresa de servicios públicos) que se encargue del recaudo del pago del servicio por parte del cliente (una entidad pública o privada). En este caso, la utility recaudaría el pago del servicio a favor del proveedor de la tecnología y del servicio, obteniendo en retorno un porcentaje del recaudo.</p> <p>Desde el punto de vista de las entidades públicas, en este caso existe un contrato entre la entidad pública y la utility, y entre la utility y el proveedor, para garantizar tanto la prestación del servicio como el recaudo.</p>	<p>Este diagrama muestra una variante del Modelo 1 que incluye a una Utility (caja gris). El flujo de dinero y propiedad es el siguiente: 1. Venta de los equipos (flecha azul de la Institución al Proveedor). 2. Pago por la venta de equipos (flecha amarilla del Proveedor a la Institución). 3. Arrendamiento de los equipos (flecha azul del Proveedor a la Institución). 4. Pago por el arrendamiento de equipos (flecha amarilla de la Institución al Proveedor). 5. Prestación de servicio de enfriamiento (flecha azul del Proveedor a los Clientes). 6. Pago por el servicio de enfriamiento (flecha amarilla de los Clientes a la Utility). 7. Pago por el servicio de enfriamiento (flecha amarilla de la Utility al Proveedor).</p>

<p>Modelo 2</p>	<p>Vehículos de propósito especial (SPV)</p>	<p>Los SPV, o vehículos de propósito especial, son entidades creadas para cumplir unos objetivos particulares, en un tiempo específico. En este caso, el SPV es el encargado de comprar los equipos al proveedor tecnológico y firmar los contratos con los clientes del servicio. Sin embargo, existe un acuerdo entre el SPV y el proveedor de la tecnología, que es responsable por el mantenimiento y la operación de los equipos (incluyendo los servicios públicos), sin ser dueño de los equipos.</p> <p>En el contexto colombiano, un vehículo de propósito especial frecuente son las fiducias mercantiles, que operan bajo patrimonios autónomos y son entidades de servicios financieros sujetas a inspección y vigilancia por parte de la Superintendencia Financiera de Colombia, y a las Contralorías asimismo, son sujetos de vigilancia y control por los demás órganos de control del Estado. Para realizar un encargo fiduciario, las entidades del sector público deben realizar el respectivo proceso de licitación o concurso para seleccionar la sociedad fiduciaria a contratar.</p>	<pre> graph TD Inv[Inversionistas] -- Inversión --> SPV[Vehículo de propósito especial (SPV)] SPV -- Rentabilidad --> Inv SPV -- Venta de los equipos --> Prov[Proveedor de la tecnología y el servicio] Prov -- Pago por la venta de equipos --> SPV SPV -- Contrato para el servicio --> Prov Prov -- Pago por el servicio --> SPV Prov -.-> Prestación de servicio de enfriamiento Ent[Entidades públicas (clientes)] Ent -.-> Contrato servicio de enfriamiento SPV Ent -- Pago por el servicio de enfriamiento --> SPV </pre>
-----------------	--	---	---

<p>Modelo 3</p>	<p>Asociación público-privada (APP)</p>	<p>En las entidades del sector público colombiano y en el sector privado, se identificó que las APP son un esquema de implementación de proyectos ya establecido, en el cual las entidades están dispuestas a participar. En el contexto colombiano, donde el uso de vehículos de propósito especial no es tan común en la financiación de proyectos, el esquema planteado podría asemejarse más a las asociaciones público-privadas (APP) que se han establecido para la implementación de proyectos en el país.</p> <p>La entidad pública o privada que será la cliente del servicio de enfriamiento, debe establecer un vínculo con un socio estratégico que pueda proporcionar la tecnología y el servicio. La entidad hace un aporte a la asociación con la vida útil valorada de los equipos de climatización que aún tenga en su inventario y que se encuentren funcionando, o con recursos financieros. En este sentido, al utilizar los equipos existentes como aporte accionario para disminuir los costos actuales de la entidad, no se está incurriendo en detrimento patrimonial. Asimismo, el contrato de prestación del servicio de enfriamiento lo establece la entidad pública con la APP.</p>	
-----------------	---	---	--

		<p>La otra forma de participación del socio estratégico consiste en tener un rol similar al del inversionista, no vendiendo sus equipos sino poniéndolos como inversión en la APP y recibiendo su rentabilidad. Sin embargo, en este mecanismo también tendría un contrato con la APP para prestar el servicio de enfriamiento a la entidad pública o privada.</p>	
<p>Modelo 4</p>	<p>Distrito Térmico</p>	<p>Los Distritos Térmicos son sistemas que prestan servicios de enfriamiento, sin embargo, la generación de la energía térmica se da en un sistema centralizado, y no en las tecnologías instaladas en cada cliente, como sucede con los Servicios Tercerizados de Enfriamiento. En este sentido, los Distritos Térmicos tienen redes de distribución para el agua caliente o fría, de manera que es posible sustituir los equipos tradicionales de aire acondicionado.</p> <p>La contratación se realiza entre el Distrito Térmico, o su comercializador, y la entidad del sector público o privada.</p>	

Fuente: tomado de Estudio para la prestación de servicios de enfriamiento subcontratados (CORPOEMA,2022

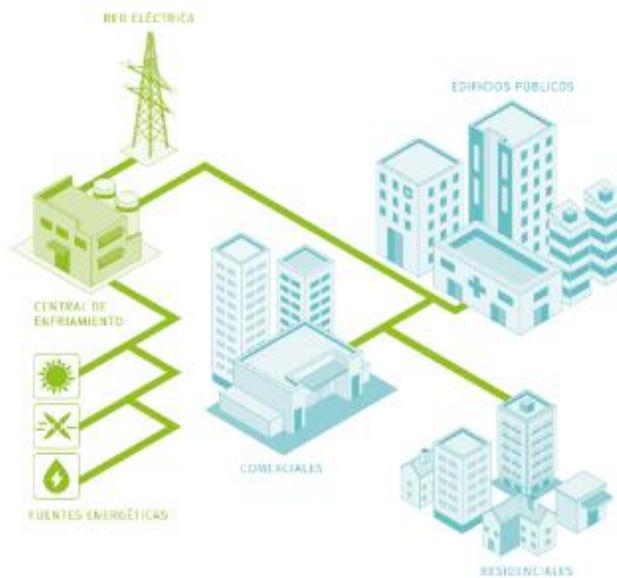


9.4. Distritos térmicos

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 95. 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.

9.5. Distritos térmicos en Colombia

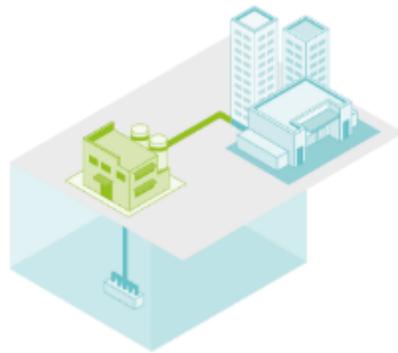
9.5.1. Distritos térmicos viables en Colombia

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 96. Arquitectura de distritos térmicos con agua marina o fluvial



Fuente: (Ministerio de Ambiente, 2019)

Refrigeración con energías 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 97. Arquitectura de distritos térmicos de refrigeración con energías renovables

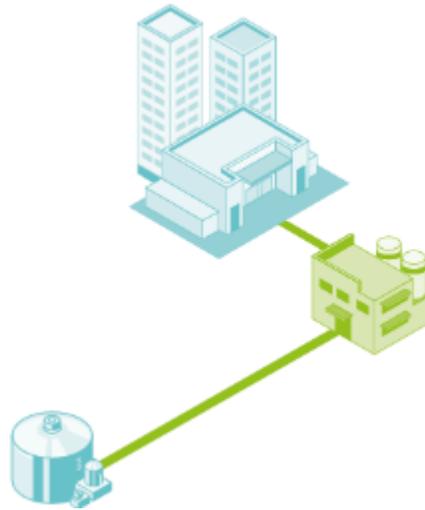


Fuente: (Ministerio de Ambiente, 2019)

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 98. Arquitectura de distritos térmicos de cogeneración con gas o energía solar

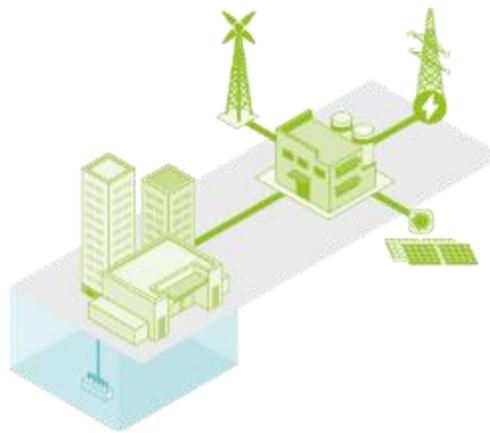


Fuente: (Ministerio de Ambiente, 2019)

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 99. Arquitectura de distritos térmicos mixtos



Fuente: (Ministerio de Ambiente, 2019)

9.5.2. 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 100. 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 101** a continuación presenta los distritos térmicos que se encuentran actualmente en operación en Colombia.

Figura 101. Distritos térmicos en operación en Colombia





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 – Plásticel

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 102** a continuación ilustra los distritos térmicos en Colombia, los cuales se encuentran actualmente en operación o fase de diseño.

Figura 102. Distritos térmicos en desarrollo en Colombia.





Distrito térmico Intercontinental - NAO

Distrito térmico Aldor - Plasticel



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 68**. Toneladas de refrigeración de los distritos térmicos en operación y en desarrollo 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 68. 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 de refrigeración	7.194	Total Toneladas de refrigeración	3.947

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

10. Conclusiones y/o recomendaciones

Se estima que tanto la demanda de energía como las emisiones de CO₂ en los sectores de refrigeración y climatización aumentarán en los próximos años. Para mitigar estos impactos, se han evaluado diferentes escenarios que incluyen aprovechamiento de energía, cambio tecnológico, buenas prácticas y digitalización.

En el sector de climatización, de no implementarse incentivos ni intervenciones, la demanda energética alcanzará los 24.466 GWh/año en 2050, con el 50% proveniente del clima cálido-húmedo. Este mismo clima será responsable del 51% de las emisiones equivalentes de CO₂ (487.797 tCO₂-eq).

El escenario más efectivo para reducir estos valores es el de aprovechamiento de energía alto, con una reducción del 25% en la demanda energética y del 14% en las emisiones de CO₂-eq respecto al escenario tendencial. A nivel sectorial, el sector residencial podría disminuir su consumo en un 26% y sus emisiones en un 16%, mientras que el sector terciario lograría reducciones del 16% y 8%, respectivamente.

En el sector de refrigeración, se proyecta que la demanda energética alcanzará los 30.032 GWh/año en 2050, con emisiones equivalentes de CO₂ de 3,6 millones de tCO₂-eq. La cadena de frío en alimentos-residencial concentrarán el 87% del consumo energético y el 81% de las emisiones.

El cambio tecnológico alto se presenta como la estrategia más efectiva, con reducciones del 25% en la demanda de energía y del 24% en las emisiones de CO₂. En la cadena de frío en alimentos,

este mismo escenario permitiría ahorros del 26% en ambas variables, siendo especialmente relevante en el sector residencial.

En la cadena de frío en salud, la opción más eficiente sigue siendo el cambio tecnológico, con reducciones del 35% en consumo energético y emisiones. Por último, en los procesos industriales, permitiría una reducción del 13% en ambos indicadores.

11. Referencias

- ACAIRE. (2013). *Norma ACAIRE de acondicionamiento de aire para establecimientos hospitalarios y Similares*. Obtenido de <https://www.acaire.org/acaire2018/pdf/140213-GUIA-ACAIRE-ESTABLECIMIENTOS-HOSPITALARIOS-Y-SIMILARES.pdf>
- ACAIRE. (2017). *RITE 2017*. Obtenido de Asociación Colombiana de Acondicionamiento del Aire y de la Refrigeración: http://cceecol.org/images/archivos/Biblioteca/RITE_2017_FINAL.pdf
- Agência Nacional de Energia Elétrica. (2024). *Programa de Eficiência Energética (PEE)*. Obtenido de Ministério de Minas e Energia: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/programa-de-eficiencia-energetica#:~:text=O%20Programa%20de%20Eficiência%20Energética,consumo%20en%20energético%20em%20diferentes%20setores>
- Arpa Energy. (2024). *ARPA-E ANNOUNCES \$41 MILLION FOR RENEWABLES-TO-LIQUIDS*. Obtenido de <https://arpa-e.energy.gov>
- ASHRAE. (2022). *Safety Standard for Refrigeration Systems and ANSI/ASHRAE Standard 15*. Obtenido de <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/ashrae-refrigeration-resources>
- Australian Government. (2012). *Greenhouse and Energy Minimum Standards Act 2012*. Obtenido de Federal Register of Legislation: <https://www.legislation.gov.au/C2012A00132/latest/text>
- Australian Government. (2022). *Ozone Protection and Synthetic Greenhouse Gas Management Reform (Closing the Hole in the Ozone Layer) Act 2022*. Obtenido de Federal Register of Legislation: <https://www.legislation.gov.au/C2022A00092/latest/text>
- BEE. (2024). *Bureau of Energy Efficiency*. Obtenido de <https://beeindia.gov.in/en/about-bee>
- CGIEE. (2024). *Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética*. Obtenido de <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/ee/cgiee-1>
- Congreso de Colombia. (2024). *Ley 697 de 2001*. Obtenido de http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0697_2001.html
- Congreso de la República. (1979). *Ley 9 de 1979*. Obtenido de Función pública: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1177>
- Congreso de la República. (2008). *Decreto N. 2688 de 2008*. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PROURE/DECRETO_2688_2008.pdf

- Congreso de la República. (2014). *Ley 1715 de 2014*. Obtenido de Departamento Administrativo de la Función Pública: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=57353
- Congreso de la República. (2016). *Ley 1819 de 2016*. Obtenido de Departamento Administrativo de la Función Pública: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=79140
- CONUEE. (2024). *Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía*. Obtenido de <https://www.gob.mx/conuee>
- Cooling as a Service Initiative. (s.f.). How it works. Recuperado de <https://www.caas-initiative.org/how-it-works/>*
- CSIRO. (2024). *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*. Obtenido de <https://www.csiro.au/>
- DANE. (2021). *Informes de estadística sociodemográfica aplicada*. Obtenido de Número 7. Patrones y tendencias de la transición urbana en Colombia: <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/informes-estadisticas-sociodemograficas/2021-10-28-patrones-tendencias-de-transicion-urbana-en-colombia.pdf>
- Dansk Standard. (2024). *Comité de sistemas de calefacción y refrigeración en los edificios*. Obtenido de <https://www.ds.dk/da/udvalg/kategorier/byggeri-og-anlaeg/varme-og-koelesystemer-i-bygninger#:~:text=Arbejdsområde,til%20europæiske%20system-%20og%20produktstandarder>
- Datosmacro. (2022). *Colombia registra un incremento de su población 2022*. Obtenido de Colombia registra un incremento de su población 2022: <https://datosmacro.expansion.com/demografia/poblacion/colombia#:~:text=Colombia%20registra%20un%20incremento%20de,fue%20de%2051.049.000%20personas.>
- DNP. (2018). *Estrategia para la Implementación de los ODS en Colombia*. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3918.pdf>
- DNP. (2018). *Política de Crecimiento Verde*. Obtenido de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/conpes-3934-de-2018.pdf>
- DNP. (2018). *Política Nacional de Edificaciones Sostenibles*. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3919.pdf>
- DNP. (2020). *¿Qué es el Fondo Verde para el Clima (GCF)?*. Obtenido de Finanzas del clima: <https://finanzasdelclima.dnp.gov.co/movilizacionrecursos/fondo-verde/Paginas/que-es-el-fondo-verde-para-el-clima.aspx>

- DOE. (2024). *Departamento de Energía*. Obtenido de <https://www.energy.gov/>
- Energex. (2021). *PeakSmart air conditioning terms & conditions*. Obtenido de <https://www.energex.com.au/manage-your-energy/cashback-rewards-program/peaksmart-air-conditioning/t-and-cs/peakSmart-air-conditioning-terms-and-conditions>
- Energiaftale. (2018). *Acuerdo Energético de Dinamarca*. Obtenido de <https://www.kefm.dk/media/6646/energiaftale2018.pdf>
- Energy. (2024). *Federal Energy Management Program*. Obtenido de <https://www.energy.gov/femp/federal-energy-management-program>
- Energy Star. (2024). *The simple choice for saving energy*. Obtenido de Energy Star: <https://www.energystar.gov>
- EnergyStar. (2024). *The simple choice for saving energy*. Obtenido de <https://www.energystar.gov>
- EPA. (2024). *Climate Adaptation Plans*. Obtenido de United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/climate-adaptation/climate-adaptation-plans>
- EPA. (2024). *Regulations, Proposed Rules and Final rules determined by EPA*. Obtenido de United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/snap/regulations-proposed-rules-and-final-rules-determined-epa>
- European Commission. (2024). *The Legislative Framework*. Obtenido de Ecodesign: https://energy-efficient-products.ec.europa.eu/ecodesign-and-energy-label/legislative-framework_en
- European Commission. (2024). *Understanding the Energy Label*. Obtenido de https://energy-efficient-products.ec.europa.eu/ecodesign-and-energy-label/understanding-energy-label_en
- EVAPCO. (2024). *Centro de investigación y desarrollo Wilson E*. Obtenido de <https://www.evapco.com.au/>
- EVAPCO Australia. (2024). *eco-Air™ Series Coolers and Condensers*. Obtenido de <https://www.evapco.com.au/>
- EVAPCO Australia. (2024). *eco-Air™ Series Coolers and Condensers*. Obtenido de Centro de Investigación y Desarrollo Wilson E. Bradley de EVAPCO: <https://www.evapco.com.au/>
- FENOGE. (2024). *Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía*. Obtenido de <https://fenoge.gov.co/>
- FIDE. (2024). *Sello FIDE*. Obtenido de Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica: https://www.fide.org.mx/?page_id=14959

- Gobierno de México. (2013). *Normas Oficiales Mexicanas en Eficiencia Energética*. Obtenido de Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía: <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/normas-oficiales-mexicanas-en-eficiencia-energetica-vigentes>
- Gobierno de México. (2022). *Plan de Acción en enfriamiento, México*. Obtenido de Protocolo de Montreal: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/775010/PAE_FINAL_1_.pdf
- Government of India. (2024). *Bureau of Energy Efficiency*. Obtenido de Ministry of Power: <https://beeindia.gov.in/en/standards-labeling>
- Government of India. (2024). *Bureau of Energy Efficiency*. Obtenido de Ministry of power: <https://beeindia.gov.in/en/about-bee>
- Green Climate Fund. (2024). Obtenido de <https://www.greenclimate.fund/>
- Green Transition Denmark. (2024). *Green Transition Denmark*. Obtenido de <https://rgo.dk/en/who-are-we/>
- ICONTEC. (1998). *Código eléctrico colombiano*. Obtenido de NTC 2050: https://fenaltec.org.co/images/pdf/ntc_20500.pdf
- INECC. (2024). *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*. Obtenido de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/inecc>
- INEEL. (2024). *Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias*. Obtenido de Gobierno de Mexico: <https://cecse.ineel.mx/>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales. (20 de 08 de 2024). *Informe de predicción climática a corto, mediano y largo*. Obtenido de Informe de predicción climática a corto, mediano y largo: https://bart.ideam.gov.co/wrfideam/new_modelo/CPT/informe/Informe.pdf
- International India. (2023). *THE STORY OF INDIA'S FIRST STATE-WIDE COOL ROOF POLICY*. Obtenido de <https://www.nrdc.org/sites/default/files/2023-12/cool-roofs-policy-factsheet-20231207.pdf>
- IPCC. (2013). *Intergovernmental panel on climate change*. Obtenido de https://archive.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml
- ISO. (2014). *ISO 5149-1:2014*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/54979.html>
- LabEEE. (2020). *NBR 15575-2021 - Desempenho térmico*. Obtenido de Laboratório de eficiência energética em edificações: <https://labeee.ufsc.br/pt-br/NBR15575-2020>

- Macrotrends. (2024). *Colombia GDP 1960-2024*. Obtenido de Colombia GDP 1960-2024: https://www.macrotrends.net/global-metrics/countries/COL/colombia/gdp-gross-domestic-product#google_vignette
- MinAmbiente. (2024). *Beneficios Tributarios por inversiones FNCE y Eficiencia Energética*. Obtenido de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: <https://beneficios-tributarios.minambiente.gov.co/beneficios-tributarios-por-inversiones-fnce-y-eficiencia-energetica/#:~:text=Se%20trata%20de%20beneficios%20tributarios%20expresamente%20consagrados%20en,dados%20por%20el%20Ministerio%20de%20Minas%20y%20Energía>
- MinAmbiente. (2024). *Convención de Viena y Protocolo de Montreal*. Obtenido de Unidad Técnica de Ozono – UTO: <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/convencion-de-viena-y-protocolo-de-montreal/>
- Ministerio de Ambiente. (2019). *Ley 1972 de 2019*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/ley-1972-2019.pdf>
- Ministerio de Ambiente. (2023). *Programa Mi Huella de Carbono*. Obtenido de Estrategia Colombia Carbono Neutral: <https://carbononeutral.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2023/08/Presentacio%CC%81n-de-Mi-Huella-de-Carbono.pdf>
- Ministerio de Ambiente. (2024). *Lineamientos Ambientales*. Obtenido de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana: <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/lineamientos-ambientales/>
- Ministerio de Ambiente. (2024). *Negocios Verdes*. Obtenido de Oficina de Negocios Verdes y Sostenibles: <https://www.minambiente.gov.co/negocios-verdes/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Resolución 2749 de 2017*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/resolucion-2749-de-2017.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Manual de buenas prácticas en refrigeración*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/Manual-Buenas-Practicas-Refrigeracion-1.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Ley 1972 de 2019*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/ley-1972-de-2019/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). *Resolución 0634 de 2022*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/07/Resolucion-0634-de-2022.pdf>

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2008). *Resolución 909 de 2008*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-909-de-2008.pdf>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2006). *Resolución 601 de 2006*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-601-de-2006.pdf>
- Ministerio de Energía y Minas. (2014). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, RETIE*. Obtenido de Resolución 90795 de 2014: <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Resolucion/30039281>
- Ministério de Minas e Energia. (2019). *Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética (CGIEE)*. Obtenido de CGIEE: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/ee/cgiee-1>
- Ministério de Minas e Energia. (2023). *Procel - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica*. Obtenido de Secretaria Nacional de Transição Energética e Planejamento: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/procel>
- Ministério de Minas e Energia. (2023). *Plano Nacional de Eficiência Energética*. Obtenido de <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/plano-nacional-de-eficiencia-energetica>
- Ministerio de Minas y Energía. (2013). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE*. Obtenido de Resolución 90708 de 2013: <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos/reglamento-t%C3%A9cnico-de-instalaciones-el%C3%A9ctricas-retie/>
- Ministerio de Minas y Energía. (2021). *Resolución N. 40420 de 2021*. Obtenido de https://www.minenergia.gov.co/documents/3844/49163-Resolucion_40420.pdf
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015). *Requisitos de sostenibilidad*. Obtenido de Resolución 0549 de 2015: https://www.minvivienda.gov.co/system/files/consultasp/proyecto-de-resolucion_2.pdf
- Ministerio de Vivienda, ciudad y territorio. (2015). *RESOLUCIÓN 549 DE 2015*. Obtenido de https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_minviviendact_0549_2015.htm
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. (2010). *Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas*. Obtenido de Serviço Público Federal: https://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010_RTQ_Def_Edificacoes-C_rev01.pdf
- Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. (2021). *Conheça o Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE*. Obtenido de [https://www.gov.br/inmetro/pt-](https://www.gov.br/inmetro/pt-194)

br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/conheca-o-programa

Ministry of Environment. (2022). *India Cooling Action Plan*. Obtenido de orest and Climate Change: <https://pib.gov.in/PressReleaselframePage.aspx?PRID=1805795>

Naciones Unidas. (2024). *Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono*. Obtenido de Observatorio del principio 10 en América Latina y el Caribe: <https://observatoriop10.cepal.org/es/tratado/convenio-viena-la-proteccion-la-capaz-ozono>

Naciones Unidas. (2024). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Obtenido de Objetivos y metas de desarrollo sostenible: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>

National Carbon Bank of Australia. (2024). *Space Heating and Air-Conditioning*. Obtenido de <https://www.nationalcarbonbank.com.au/heating-air-conditioning-hvac>

NREL. (2024). *Laboratorio Nacional de Energía Renovable*. Obtenido de Decades of NREL Research Power Electric Vehicle Revolution Progress: <https://www.nrel.gov/>

NZEB. (2001). *Policies Energy Conservation Act 2001*. Obtenido de <https://nzeb.in/definitions-policies/national-policies/energy-conservation-act-2001/>

NZEB. (2024). *Policies National Mission for Enhanced Energy Efficiency*. Obtenido de <https://nzeb.in/definitions-policies/national-policies/national-mission-for-enhanced-energy-efficiency/>

NZEB. (2024). *Programa Edificios de Energía Casi Nula*. Obtenido de <https://nzeb.in/>

ONU. (2022). *Sexto informe de evaluación del IPCC: Cambio Climático 2022*. Obtenido de Programa para el medio ambiente: <https://www.unep.org/es/resources/informe/sexto-informe-de-evaluacion-del-ipcc-cambio-climatico-2022>

Presidência da República. (2001). *LEI No 10.295, DE 17 DE OUTUBRO DE 2001*. Obtenido de Subchefia para Assuntos Jurídicos: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10295.htm

Presidente de la República de Colombia. (2002). *DECRETO No. 3683 DE DICIEMBRE 19 DE 2003*. Obtenido de <https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PROURE/Decreto3683.pdf>

PWC. (2023). *Una mirada a los incentivos tributarios energéticos y ambientales en Colombia*. Obtenido de <https://www.pwc.com/co/es/advisory/Sostenibilidad/brochures/2023/factsheet-incentivos-tributarios.pdf>

- Rentek. (2024, julio 23). *Guía completa sobre ¿Qué es el Renting y cómo funciona?* Rentek. <https://www.rentek.com.co/blog/que-es-renting>
- RFBB. (2024). *Consejo de Construcción Verde de Dinamarca*. Obtenido de <https://rfbb.dk/>
- Secretario de energía. (2016). *Programa Nacional Para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía*. Obtenido de Programa especial: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/185047/PRONASE2016OdB04112016concomentariosCCTE_0812116CSVersionFinalcomprimida.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. (1995). *Decreto 2082 de 1995*. Obtenido de Sistema Único de Información Normativa: <https://www.suin-juriscal.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/1397082>
- SUIN. (2008). *Decreto 934 de 2008*. Obtenido de Sistema Único de Información Normativa: <https://www.suin-juriscal.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/1192884>
- SUIN. (s.f.). *dCRETO 2162 DE 1983*. Obtenido de Sistema Único de Información Normativa: <https://www.suin-juriscal.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/1410613>
- TERI. (2024). *Energy and Resources Institute*. Obtenido de <https://www.teriin.org/history>
- United Nations Climate Change. (2023). *Protocolo de Kyoto*. Obtenido de https://unfccc.int/es/kyoto_protocol
- UPME. (2020). *Programa de uso racional y eficiente de la energía - PROURE*. Obtenido de <https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/PROURE.aspx>
- UPME. (01 de 01 de 2024). *Cálculo del índice de cobertura de energía eléctrica 2019 - 2022*. Obtenido de Cálculo del índice de cobertura de energía eléctrica 2019 - 2022: https://www1.upme.gov.co/siel/Documents/Informes_cobertura/Boletin_Calculo_ICEE_2019_2022v3.pdf
- UPME. (01 de 01 de 2024). *Plan de Acción indicativo PROURE (Programa de uso racional y eficiente de la energía) 2022 - 2030*. Obtenido de Plan de Acción indicativo PROURE (Programa de uso racional y eficiente de la energía) 2022 - 2030: https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PROURE/Documento_PROURE_2022-2030_v4.pdf
- UPME. (01 de 07 de 2024). *Proyección de la demanda de energía eléctrica y potencia máxima 2024 - 2038*. Obtenido de Proyección de la demanda de energía eléctrica y potencia máxima 2024 - 2038:

https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Proyeccion_demanda_en_ergia_electrica_y_potencia_maxima_rev_jul2024.pdf

Vikaspedia. (2024). *Misión Nacional para la Mejora de la Eficiencia Energética*. Obtenido de <https://vikaspedia.in/energy/environment/climate-change/india's-intended-nationally-determined-contrib>

World Bank Group. (2021). *Climate Risk Country Profile - Colombia*. Obtenido de Climate Risk Country Profile - Colombia: https://climateknowledgeportal.worldbank.org/sites/default/files/2021-07/15520-WB_Colombia%20Country%20Profile-WEB%20%283%29.pdf

[1] República de Colombia. Ministerio de Vivienda, Ciudad. Resolución 0549, de 2015. Disponible en: <https://camacol.co/sites/default/files/Resoluci%C3%B3n%20549%20de%202015%20con%20Anexos.pdf>.

[2] SindusCon-SP. Guia Interativo de Eficiência Energética em Edificações. 2024. Disponible en: https://www.guiaenergiaedificacoes.com.br/wp-content/themes/sinduscon/pdfs/Guia_Compilado_Atualizado_V3.pdf.

[3] Eficiência Energética na Arquitetura. Disponible en: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf.

[4] CONPES. Política Nacional de Edificaciones Sostenibles. Disponible en : <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3919.pdf>.

[5] PROJETEEE. Resfriamento Evaporativo. Disponible en: <http://www.mme.gov.br/projeteeee/estrategia/resfriamento-evaporativo/>.

[6] Ministerio de Minas y Energía. Reglamento Técnico de Etiquetado - RETIQ. Disponible en: <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos/reglamento-t%C3%A9cnico-de-etiquetado-retiq/>.

[7] Kline, Stephen G. Understanding Air Cooled, Water Cooled, Adiabatic, and Hybrid Fluid Cooling Solutions. Baltimore Aircoil Company (BAC), 2022. Disponible en: https://baltimoreaircoil.com/download_api_endpoint/5093/CoolingSystems_20220121.pdf.

[8] Ministerio de Minas y Energía. Anexo General RETIQ. Disponible en: https://www.minenergia.gov.co/documents/3840/Compilado_Anexo_General_RETIQ_%C3%9Altima_Versi%C3%B3n_-_Abril_2021.pdf.

[9] FIGUEROA; CASTELLANOS. El impacto de los distritos térmicos en la reducción del consumo energético y la mejora del confort de edificaciones en las ciudades inteligentes. Disponible en: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/2845/Anexo.pdf?sequence=2>.

- [10] U.S. Department of Energy. Cool Roofs. Disponible en: <https://www.energy.gov/energysaver/cool-roofs>.
- [11] Aislopuertas. Proyectos de Puertas para Refrigeración Abatibles. Disponible en: <https://puertaspararefrigeracionabatibles.com/>.
- [12] KALYANI, Mihir. Adiabatic Cooling, the New Happy Medium. Chiller & Cooling: Best Practices Magazine, 28 jun. 2023. Disponible en: <https://coolingbestpractices.com/technology/cooling-towers/adiabatic-cooling-new-happy-medium>.
- [13] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Passive solar design. Washington, D.C.: Office of Building Technology, State and Community Programs, 2000. Disponible en: <http://www.eren.doe.gov/buildings>.
- [14] LNABAWI, M. H.; SABER, E.; BANDE, L. Passive Building Energy Saving: Building Envelope Retrofitting Measures to Reduce Cooling Requirements for a Residential Building in an Arid Climate. Sustainability, v. 16, n. 626, 2024. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/2/626>.
- [15] BELMAN-FLORES, J. M.; BARROSO-MALDONADO, J. M.; RODRÍGUEZ-MUÑOZ, A. P.; CAMACHO-VÁZQUEZ, G. Comportamiento de los hábitos de uso de refrigeradores domésticos y su influencia en el consumo de energía. Energies, v. 12, n. 860, p. 1-20, 2019. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/5/860>.
- [16] MINISTÉRIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL E MINISTÉRIO DE COMERCIO, INDUSTRIA Y TURISMO. (2006, abril 25). Reglamento Técnico aplicable a los artefactos refrigeradores, congeladores, combinación refrigeradores-congeladores para uso doméstico, tanto de fabricación nacional como importados, para su comercialización en Colombia. Resolución 859 de 2006. Diario Oficial No. 46.261, 7 de mayo de 2006. Disponible en: <https://sic.gov.co/node/9773>.
- [17] VALENTA, P. (2021, June 30). Ice Storage or Chilled Water Storage? Which Is Right for the Job? Chiller & Cooling Best Practices Magazine. Disponible en : <https://coolingbestpractices.com/system-assessments/chillers/ice-storage-or-chilled-water-storage-which-right-job>.
- [18] THE CARBON TRUST. (2022). Beneficios Económicos de las Tarifas Horarias para los Usuarios Finales. Disponible en: https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Estudio_Beneficios_econ%C3%B3micos_de_las_TH_para_usuarios_finales.pdf.
- [19] InProcess Automatización Industrial. (2024). Ahorro energético en sistemas de refrigeración con variadores de frecuencia. Disponible en: <https://inprocess.com.pe/ahorro-energetico-en-sistemas-de-refrigeracion-con-variadores-de-frecuencia/>.
- [20] NEPIN. (2023). Automação em Sistemas de Refrigeração: Eficiência e Controle. Disponible en: <https://www.nepin.com.br/blog/solucoes-industriais/sistemas-de-refrigeracao/>.

- [21] GEA Group Aktiengesellschaft. (2024). GEA Omni Control Panel: An advanced digital solution for compressor control, refrigeration & heating system control, and retrofit upgrades for existing equipment. Disponible en: <https://www.gea.com/en/assets/296836/>.
- [22] U.S. Department of Energy. Energy Efficient Window Coverings. Disponible en: <https://www.energy.gov/energysaver/energy-efficient-window-coverings>
- [23] Efficient Window Covering. Applied Film. Disponible en: <https://efficientwindowcoverings.org/understanding-window-coverings/applied-film>.
- [24] ABRAVA - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-Condicionado, Ventilação e Aquecimento. Refrigeração e a sua relação com a Eficiência Energética. Disponible en: <https://materiais.abrava.com.br/cartilha-eficiencia-energetica-em-refrigeracao>.
- [25] DIAS et al. Impact of using cool paints on energy demand and thermal comfort of a residential building. Disponible en: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/103064/3/93859.1.pdf>.
- [26] ASHRAE (2021). Guía de Diseño ASHRAE para Sistemas de Conductos. Disponible en: https://store accuristech.com/ashrae/standards/duct-systems-design-guide?product_id=2202113.
- [27] Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Manual de buenas prácticas en refrigeración. 2014. ISBN 978-958-8491-82-0. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/Manual-Buenas-Practicas-Refrigeracion-1.pdf>.
- [28] U.S. Department of Energy. Air-Source Heat Pumps. Disponible en: <https://www.energy.gov/energysaver/air-source-heat-pumps>.
- [29] ALCHAPAR, N., CORREA CANTALOUBE, E. N., & LESINO, G. (2012). Estrategias de enfriamiento pasivo urbano: índice de reflectancia solar y relación costo-beneficio en pinturas para fachadas. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 16. Disponible en: <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/131136>.
- [30] CERO GRADOS CELSIUS. Aplicación y ajuste de las válvulas de expansión termostática. (2017). Disponible en: <https://0grados.com/aplicacion-y-ajuste-de-las-valvulas-de-expansion-termostatica>.
- [31] INTERSAM. ¿Qué son las válvulas de expansión electrónicas? (2023). Disponible en: <https://intersam.es/que-son-las-valvulas-de-expansion-electronica/>.
- [32] CERO GRADOS CELSIUS. Sobrecalentamiento. (2016). Disponible en: <https://0grados.com/sobrecalentamiento/>.
- [33] Vacca Engineering. (2020). Enfriamiento Adiabático: ¿Qué es y Cómo Funciona? Disponible en: <https://www.vacca.es/produccion-eficiente-con-sistemas-de-refrigeracion-adiabaticos-ecodry/>.

- [34] Trane. (2021). Soluções de Armazenamento de Energia Térmica. Disponible en: <https://www.trane.com/commercial/latin-america/br/pt/products-systems/energy-storage-solutions.html>.
- [35] ELECTROFRIO. Uso de la Válvula de Expansión Electrónica en Sistemas de Refrigeración. (2023). Disponible en: <https://electrofrío.com.bo/valvula-de-expansion-electronica/#:~:text=La%20v%C3%A1lvula%20de%20expansi%C3%B3n%20electr%C3%B3nica%20se%20caracteriza%20por%20su%20capacidad,en%20una%20mayor%20eficiencia%20energ%C3%A9tica.>
- [36] Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. (2018) Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee: 2018 Assessment. ISBN: 978-9966-076-58-8. Disponible en: https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-04/RTOC-assessment-report-2018_0.pdf.
- [37] Viessmann. (2024). **Central ventilation system: function, planning & installation.** Disponible en: <https://www.viessmann.com.au/en/knowledge/technology-and-systems/central-housing-ventilation.html#op>.
- [38] Building Science Corporation. (2010). **Info-610: Central Fan Integrated Ventilation Systems.** Disponible en : <https://buildingscience.com/documents/information-sheets/information-sheet-ventilation-system>.
- [39] Stuart, A., & Johnson, C. (2023). **Back to basics: Introduction to dedicated outdoor air systems.** Consulting-Specifying Engineer. Disponible en: <https://www.csemag.com/articles/back-to-basics-introduction-to-dedicated-outdoor-air-systems/>.
- [40] MEPAcademy Instructor. (2022). **Dedicated Outside Air System DOAS.** MEP Academy. Disponible en: <https://mepacademy.com/dedicated-outside-air-system-doas/>.
- [41] MELIKOV, Arsen; GRØNBÆK, Henning; NIELSEN, Jan Bach. (2007) **Personal Ventilation: from research to practical use.** Proceedings of Clima WellBeing Indoors. Disponible en: <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB7956.pdf>.
- [42] MELIKOV, Arsen K. (2015) **Human body micro-environment: The benefits of controlling airflow interaction.** Building and Environment. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.04.010>.
- [43] Price Industries. (2021). **How does displacement ventilation work?** The Science of Comfort. Disponible en: <https://blog.priceindustries.com/how-does-displacement-ventilation-work>.
- [44] Designing Buildings. (2021). **Displacement ventilation.** Disponible en : https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Displacement_ventilation.

[45] Kruger. (S.f.). **Displacement Ventilation System.** Excellence in Air Distribution. Disponible en : https://www.krueger-hvac.com/file/9265/Displacement_Engineering.pdf.

[46] Ministerio de Minas y Energía. **Análisis integral nacional: RETIQ - Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas.** Bogotá, 2019. Disponible en: https://www.minenergia.gov.co/documents/11316/AIN_completo_RETIQ_Version_Final.pdf.

[47] FRIGORISTAS. **Válvula electrónica.** Disponible en: <https://frigoristas.wordpress.com/valvula-electronica/>.

[48] Cool Coalition, (2021). **National Cooling Action Plan Methodology.** Disponible en: <https://coolcoalition.org/national-cooling-action-plan-methodology/>

[49] Liu, X., & Hong, T. (2009). **Comparison of energy efficiency between variable refrigerant flow systems and ground source heat pump systems.** Energy and Buildings, 42, 565–571. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.10.028>

[50] Kim, J., CaraDonna, C., & Parker, A. (2023). **End-Use Shavings Shapes Measure Documentation: Variable Refrigerant Flow with Heat Recovery and Dedicated Outdoor Air System.** National Renewable Energy Laboratory.

[51] The Linde Group. **Refrigerants ID chart.** Disponible en : https://www.boconline.co.uk/en/images/606430-SG%20Refrigerants%20ID%20chart%20A3_tcm410-429675.pdf