



**FORMULACIÓN DE UN PROYECTO DEL MECANISMO  
DE DESARROLLO LIMPIO (MDL) EN EL SECTOR DE  
REFRIGERACIÓN, MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN  
DE HIDROCARBUROS COMO AGENTES  
REFRIGERANTES EN LOS PROCESOS DE  
MANUFACTURA**



UNIDAD TÉCNICA OZONO  
COLOMBIA

**AUTORES**

**LAURA ANDREA MALAVER NIÑO  
DIANA XIMENA VANEGAS BELTRÁN**



Oficina Colombiana para la  
Mitigación del Cambio Climático

**UNIVERSIDAD EL BOSQUE  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL  
UNIDAD TÉCNICA DE OZONO  
GRUPO DE MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO**



**BOGOTÁ DC**

**MAYO DE 2006**

**UNIVERSIDAD EL BOSQUE  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**FORMULACIÓN DE UN PROYECTO DEL MECANISMO DE  
DESARROLLO LIMPIO (MDL) EN EL SECTOR DE  
REFRIGERACIÓN, MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE  
HIDROCARBUROS COMO AGENTES REFRIGERANTES EN LOS  
PROCESOS DE MANUFACTURA**

**MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL  
UNIDAD TÉCNICA DE OZONO  
GRUPO DE MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO**

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

**DIRECTOR**

**Ing. JORGE ENRIQUE SÁNCHEZ**

**CO-DIRECTOR**

**Ing. JOSE FRANCISCO CHARRY**



*Alguna vez dijeron que era difícil encontrar lo que uno verdaderamente quiere y muchas veces después de dar vueltas y vueltas parecía ser así. Este trabajo tiene lo que exactamente estábamos buscando y les agradecemos a las personas que nos ayudaron a realizarlo y concretarlo.*

*En especial a Jorge Sánchez y Francisco Charry, quienes con su dedicación y apoyo hicieron posible este trabajo. Igualmente a todos los de la Unidad Técnica Ozono, por compartir sus conocimientos y aportar su grano de arena haciendo que este trabajo fuera cada vez mejor.*

*A Nelson Gutiérrez por darnos el impulso para luchar por lo que se quiere y por enseñarnos a creer en nosotras y en lo que podemos lograr.*

*A todos ustedes que nos demostraron que lo se quiere, se puede.*

*Muchas Gracias...*

*Laura y Diana.*

*Papá: ¿Te acuerdas cuando te dije que algún día te recompensaría por todo lo que hacías por mí? Ese momento llegó, ya soy tu ingeniera ambiental, ya estoy lista para recompensar todo lo que tu y mi mamá con su amor, paciencia y dedicación han hecho por mí. Este trabajo es dedicado a ustedes, mi ejemplo y mi inspiración.*

*A mis hermanos Jonathan y Adriana que creyeron en mi y en lo que puedo hacer y a Apolo mi perro, que fue el compañero en las largas horas de trabajo. Esto es para ustedes. Los quiero Mucho.*

*Laura.*

*A mis papás, porque todo su amor, esfuerzo y dedicación se ven reflejados en mí, en lo que soy y en todos mis logros.*

*A mis hermanos, por creer siempre en mí y darme fuerza en los momentos difíciles. Sus formas de ver la vida, aunque son diferentes entre sí, me sirvieron de ejemplo para tomar muchas decisiones.*

*A mi tía y madrina, Gloria, quien a pesar de la distancia está siempre pendiente de que pueda realizar mis sueños. Gracias por ese primer empujoncito para empezar mi carrera.*

*A mis tías Amparo, las dos siempre se las ingenieron para apoyarme en lo que necesitara.*

*Y por último, aunque no menos importante, a Humber, porque su amor y compañía siempre estuvieron para apoyarme y recordarme que los sueños sí pueden hacerse realidad.*

*Diana Ximena.*

## **TABLA DE CONTENIDO**

RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	
JUSTIFICACIÓN	
LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS	
GLOSARIO	
<b>1 OBJETIVOS</b>	
1.1 General.....	1
1.2 Específicos.....	1
<b>2 ASPECTOS METODOLÓGICOS</b>	
2.1 Población.....	2
2.2 Criterios de selección.....	2
2.3 Metodología.....	2
<b>3 MARCO TEÓRICO</b>	
<b>3.1 DESTRUCCIÓN DE LA CAPA DE OZONO Y EL CALENTAMIENTO GLOBAL</b>	
3.1.1 Capa de ozono .....	5
3.1.2 Sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO).....	5
3.1.3 Destrucción de la capa de ozono.....	6
3.1.4 Efectos de la destrucción de la capa de ozono.....	7
3.1.5 Efecto invernadero y Calentamiento global.....	8
3.1.6 Gases de efecto invernadero (GEI).....	9
3.1.7 Efectos del calentamiento global.....	10
3.1.8 Unidades de Medida ambiental (PAO, PCG).....	11
3.1.9 Relación entre calentamiento global y agotamiento de la capa de ozono.....	12
<b>3.2 REFRIGERANTES Y SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN</b>	
3.2.1 Sistemas de refrigeración.....	18
3.2.2 Ciclo de refrigeración.....	19
3.2.3 Refrigerantes.....	20
3.2.4 Propiedades de los refrigerantes.....	20
3.2.5 Refrigerantes alternativos.....	21
3.2.5.1 Refrigerante HFC 134a .....	22
3.2.5.2 Disponibilidad del HFC 134a.....	23

<b>3.3</b>	<b>DIAGNÓSTICO DEL SECTOR DE REFRIGERACIÓN A ESCALA MUNDIAL</b>	
3.3.1	Refrigeración doméstica.....	24
3.3.2	Refrigeración comercial.....	24
3.3.3	Refrigeración industrial.....	25
3.3.4	Distribución del sector de refrigeración en Colombia.....	25
3.3.4.1	Refrigeración doméstica.....	25
3.3.4.2	Refrigeración comercial.....	26
3.3.4.3	Refrigeración industrial.....	26
<b>3.4</b>	<b>MARCO NORMATIVO</b>	
3.5	Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono.....	27
3.5.1	Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono.....	27
3.5.2	Colombia en el Protocolo de Montreal .....	28
3.5.3	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.....	29
3.5.4	Protocolo de Kyoto.....	29
3.5.5	Colombia en el protocolo de Kyoto.....	30
3.5.6	Reseña de la normatividad en Colombia.....	30
<b>4</b>	<b>DESARROLLO DEL PROYECTO</b>	
<b>4.1</b>	<b>MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO</b> .....	32
4.1.1	Mecanismo de Desarrollo Limpio en Colombia.....	33
4.1.2	Condiciones de participación en el MDL.....	34
4.1.3	Características de un proyecto MDL.....	34
4.1.4	Ciclo del proyecto MDL.....	35
<b>4.2</b>	<b>MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO Y EL SECTOR DE REFRIGERACIÓN EN COLOMBIA</b>	
4.2.1	Impactos generados por los sistemas de refrigeración en el Cambio Climático.....	39
4.2.2	Impactos directos en el Cambio Climático generados por el sector de refrigeración.....	40
<b>4.3</b>	<b>TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS PARA EL SECTOR DE REFRIGERACIÓN</b> .....	43
4.3.1	Uso de hidrocarburos en el sector de refrigeración en Colombia.....	46
4.3.2	Experiencias en el uso de hidrocarburos como refrigerante a escala mundial.....	47

<b>4.4</b>	<b>HIDROCARBUROS COMO REFRIGERANTES Y SUS PROPIEDADES.</b>	49
4.4.1	Propiedades de los hidrocarburos como refrigerantes.....	50
4.4.2	Hidrocarburos disponibles como refrigerantes.....	51
4.4.3	Hidrocarburos disponibles como refrigerantes en Colombia.....	53
<b>4.5</b>	<b>REDUCCIÓN DE EMISIONES DE R-134a POR LA IMPLEMENTACIÓN DE HIDROCARBUROS COMO REFRIGERANTE</b>	
4.5.1	Proceso de fabricación de refrigeradores en el sector doméstico.....	54
4.5.2	Proceso de fabricación de refrigeradores en el sector comercial.....	57
4.5.3	Ciclo de vida del refrigerante R-134a dentro de las empresas.....	59
<b>4.6</b>	<b>LÍNEA BASE DE LAS EMISIONES DIRECTAS: REFRIGERANTE 134a</b>	60
4.6.1	Modelación de las emisiones de GEI en el futuro: Método de “abajo hacia arriba”.....	61
4.6.1.1	Variables para el cálculo de la liberación de HFC durante el uso y disposición de equipos de refrigeración. ....	62
4.6.2	Modelación de las emisiones de GEI en el futuro: Método de “arriba hacia abajo”.....	66
4.6.2.1	Dinámica del sector de refrigeración en Colombia.....	67
<b>4.7</b>	<b>LÍNEA BASE DE LAS EMISIONES INDIRECTAS: CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA</b>	70
<b>4.8</b>	<b>SISTEMAS PARA APROXIMAR LOS IMPACTOS GENERADOS AL CALENTAMIENTO GLOBAL</b>	71
<b>5</b>	<b>CÁLCULOS, ESTIMACIONES Y PROYECCIONES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA LÍNEA BASE DEL EFECTO DIRECTO E INDIRECTO AL CALENTAMIENTO GLOBAL GENERADO POR EL SECTOR DE REFRIGERACIÓN.</b>	
5.1	Fundamentos teóricos.....	73
5.2	Caso de estudio.....	75
<b>6</b>	<b>RESULTADOS</b>	77
<b>7</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	91
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	110
<b>9</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	113
<b>10</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	116
	<b>ANEXOS</b>	

## LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Figura 3.1:	<i>Concentración del ozono en la atmósfera</i>	5
Figura 3.2:	<i>Esquema de destrucción de la molécula de ozono</i>	7
Figura 3.3:	<i>Cambio en la temperatura global (1880-2000)</i>	9
Figura 3.4:	<i>Valores de Potencial de Agotamiento de Ozono (PAO) de las sustancias refrigerantes más utilizadas en la industria</i>	12
Figura 3.5:	<i>Valores de Potencial de Calentamiento Global (PCG) de las sustancias refrigerantes más utilizadas en la industria</i>	12
Figura 3.6:	<i>Diagrama esquemático de los principales aspectos considerados en la relación capa de ozono – calentamiento global</i>	14
Figura 3.7:	<i>Consecuencias de la emisión de GEI y SAO a la atmósfera</i>	15
Figura 3.8:	<i>Emisiones directas de GEI y SAO ponderadas en función del PCG</i>	17
Figura 3.9:	<i>Esquema de un sistema de refrigeración</i>	18
Figura 3.10:	<i>Ciclo de refrigeración</i>	19
Figura 3.11:	<i>Sustancias refrigerantes alternativas</i>	22
Figura 4.1:	<i>Alcances del Mecanismo de Desarrollo Limpio</i>	33
Figura 4.2:	<i>Esquemización para determinar en volumen de reducción de emisiones (Escenario sin proyecto y con proyecto)</i>	35
Figura 4.3:	<i>Ciclo del proyecto del Mecanismo de Desarrollo Limpio</i>	36
Figura 4.4:	<i>Efectos de un sistema de refrigeración en el Cambio Climático</i>	40
Figura 4.5:	<i>Análisis del sector de refrigeración en Colombia para formular un MDL</i>	42
Figura 4.6:	<i>Proceso de fabricación de refrigeradores en el sector doméstico</i>	56
Figura 4.7:	<i>Proceso de fabricación de refrigeradores en el sector comercial</i>	58



Figura 4.8:	<i>Emisiones directas generadas por la manufactura de equipos de refrigeración con R-134a en Colombia</i>	.....	63
Figura 4.9:	<i>Datos históricos correspondientes al 2002 y proyecciones para el año 2015 con respecto a los depósitos y emisiones de HFC realizados por el sector de refrigeración.</i>	.....	65
Figura 4.10:	<i>Dinámica del sector de refrigeración doméstica y comercial en Colombia</i>	.....	67
Figura 4.11:	<i>Dinámica del refrigerante 134a en el sector de refrigeración doméstica y comercial en Colombia</i>	.....	67
Figura 4.12:	<i>Modelo conceptual del entorno económico en el sector de refrigeración</i>	.....	68
Figura 4.13:	<i>Esquema Desarrollo del proyecto de investigación</i>	.....	75
Tabla 3.1:	<i>Gases Efecto Invernadero presentes en la atmósfera de manera natural y antrópica</i>	.....	10
Tabla 3.2:	<i>Propiedades físicas del refrigerante HFC 134a</i>	.....	22
Tabla 4.1:	<i>Los pro y los contra de los refrigerantes sin fluorocarburos</i>	.....	45
Tabla 4.2:	<i>Especificaciones de la calidad de los hidrocarburos para su uso como refrigerantes</i>	.....	51
Tabla 4.3:	<i>Hidrocarburos utilizados como refrigerantes disponibles en el mercado</i>	.....	51
Tabla 4.4:	<i>Características de los hidrocarburos refrigerantes comparados con refrigerantes tradicionales y sustitutos</i>	.....	52
Tabla 4.5:	<i>Ciclo de vida del HFC 134a dentro de las empresas</i>	.....	59
Tabla 4.6:	<i>Depósitos de refrigerante y emisiones directas de HFC en el sector de refrigeración a escala mundial.</i>	.....	64

## **ANEXOS**

- Anexo 1: *Encuesta y lista de chequeo implementada en las empresas dedicadas a la manufactura de equipos de refrigeración doméstica y comercial del país.*
- Anexo 2: *Consumo de sustancias refrigerantes realizadas por el sector de refrigeración en Colombia*
- Anexo 3: *Instrumentos normativos para la reducción de emisiones de GEI y SAO*
- Anexo 4: *Generalidades: Documento conpes 3242*
- Anexo 5: *Generalidades: Resolución 0453 de abril de 2004 expedida por el MAVDT*
- Anexo 6: *Determinación de la función de crecimiento de número de equipos*
- Anexo 7.1: *Cálculo de Línea Base por emisión de R-134a en el sector de refrigeración doméstica utilizando un ciclo de vida de 25 años*
- Anexo 7.2: *Cálculo de Línea Base por emisión de HC en el sector de refrigeración doméstica utilizando un ciclo de vida de 25 años*
- Anexo 7.3: *Cálculo de Línea Base por consumo de energía eléctrica en el sector de refrigeración doméstica utilizando un ciclo de vida de 25 años*
- Anexo 7.4: *Cálculo de Línea Base por emisión de R-134a en el sector de refrigeración doméstica utilizando un ciclo de vida de 15 años*
- Anexo 7.5: *Cálculo de Línea Base por emisión de HC en el sector de refrigeración doméstica utilizando un ciclo de vida de 15 años*
- Anexo 7.6: *Cálculo de Línea Base por consumo de energía eléctrica generada por los equipos de refrigeración doméstica, utilizando un ciclo de vida de 15 años*

Este proyecto une por primera vez en Colombia los esfuerzos por proteger la capa de ozono y participar en las estrategias para mitigar el calentamiento global, al presentar una aproximación de la reducción de la emisión de gases efecto invernadero (GEI), generada por el uso y consumo de R-134a en el sector de refrigeración doméstica y comercial y otros usos de frío en el país, debido a la implementación de hidrocarburos como agentes refrigerantes, a mediano o largo plazo. Esta aproximación se realizó con la proyección hasta el año 2031 de la situación actual de las emisiones en Colombia.

Para que esta proyección coincida lo mejor posible con la realidad futura, se analizaron posibles escenarios que puedan cambiar los resultados, como por ejemplo el desarrollo tecnológico y mejores prácticas en la disposición final de los equipos de refrigeración. De esta manera, se realizó parte de la formulación de un proyecto del Mecanismo de Desarrollo Limpio, como primer paso para obtener reducciones certificadas de emisiones (CERs), las cuales sirven como transacción con otros países que tengan compromisos de reducción ante el Protocolo de Kyoto, a cambio de un incentivo económico para Colombia.

De acuerdo con esto y con el cálculo y evaluación de los diferentes escenarios, la implementación de hidrocarburos como refrigerantes en el sector de refrigeración doméstica y comercial y otros usos de frío del país, representa una reducción en la emisión de GEI de aproximadamente 20.000 kilo toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, lo cual equivale a un incentivo económico de 138 millones de dólares para un periodo de 21 años a partir de la implementación, disponibles para cubrir la inversión inicial realizada para la reconversión de la industria de refrigeración.

Es así como se comprueba que la implementación de este proyecto cumple con los objetivos principales del Mecanismo del Desarrollo Limpio, pues se traduce en un beneficio ambiental, tecnológico, económico y social, acercando al país a un modelo de desarrollo sostenible.

**Palabras clave:** Mecanismo de Desarrollo Limpio, Protocolo de Kyoto, Protocolo de Montreal, Gases Efecto Invernadero, hidrocarburos como refrigerantes

#### **ABSTRACT**

This is the first time in Colombia that a project puts together efforts to protect the ozone layer and to be part of the strategies to mitigate the global warming, by presenting an approximation of greenhouse gases (GHG) emission reduction generated by the use and consume of R-134a in both domestic and commercial refrigeration sector in the country due to the implementation of hydrocarbons as refrigerating agents in a long or mid term period. This approximation was done by replicating the GHG emissions current situation of Colombia.

In order that predictions match with the reality of future, some possible scenarios that might change the results, such as technological development and the use of good techniques at the final disposal of refrigeration equipment, were analysed. In this way, a part of a project proposal of Clean Development Mechanism is done as a first step to get certified emissions reductions (CERs) and negotiate them with countries that have reduction commitment with Kyoto Protocol in exchange for money incentive for Colombia.

According with that and the calculation and evaluation of the different scenarios, the implementation of hydrocarbons as refrigerants in both domestic and commercial refrigeration sector of the country, represents a GHG emissions reduction of 20.000 kilo tons of equivalent CO<sub>2</sub>, which is equivalent to a money incentive of 138 million dollars in a period of 21 years since the implementation, available to cover the first investment in this refrigeration industry transformation.

In this way, it is proved that the implementation of hydrocarbons that this project proposes, reaches the main goals of Clean Development Mechanism, since this project gets environmental, technological, economical and social benefits, leading the country to a model of sustainable development.

**Key Words:** Clean Development Mechanism, Kyoto Protocol, Montreal Protocol, Greenhouse gases, hydrocarbons as refrigerating agents.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha profundizado en los temas que relacionan el agotamiento de la capa de ozono y el calentamiento global, estudios han demostrado que algunas de las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO) son a su vez gases efecto invernadero (GEI). Afortunadamente, las medidas y estrategias de control de uso y consumo de estas sustancias llevadas a cabo por el Protocolo de Montreal (Relativo a las SAO) y la participación voluntaria de países en el Protocolo de Kyoto (relativo a los GEI), han logrado minimizar el impacto que conllevan las actividades industriales a estos dos problemas ambientales.

Este es el caso de sustancias como los clorofluorocarbonos (CFC) e hidrocfluorocarbonos (HCFC) controlados por el Protocolo de Montreal, donde la vigilancia de su uso y emisión generada principalmente por el sector de refrigeración, ha reducido el agotamiento de la capa de ozono al mismo tiempo que ha evitado el aumento de la temperatura media mundial.

Sin embargo, las estrategias de reducción de SAO en este sector han promovido el uso de sustancias refrigerantes como los hidrofluorocarbonos (HFC), los cuales no presentan un impacto al agotamiento de la capa de ozono, pero siguen contribuyendo al calentamiento global. Es de esta manera, como los HFC se convierten en sustancias controladas por el Protocolo de Kyoto.

No obstante, la demanda que representa el sector de refrigeración ha llevado a la investigación de nuevas alternativas para los refrigerantes tradicionales. Debido a esto, se han venido desarrollando sustancias exentas de fluorocarburos de donde se destacan los hidrocarburos (HC) como una solución con impactos ambientales perjudiciales mínimos y con experiencias positivas en Europa y en algunos países en desarrollo como Cuba.

De acuerdo con esto, el siguiente documento, realizado con el apoyo y orientación de la Unidad Técnica de Ozono (UTO) y el Grupo de Mitigación del Cambio Climático (GMCC), adscritos al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), presenta una aproximación a los beneficios ambientales, económicos, tecnológicos y sociales que traería la implementación de hidrocarburos como agentes refrigerantes en el sector doméstico y comercial y otros usos de frío en Colombia, bajo el marco de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)

## **JUSTIFICACIÓN**

En el último año, el agujero de la capa de ozono se acercó a los 28 millones de kilómetros cuadrados, según lo afirma el científico Geir Braathen, del Departamento de Investigación Atmosférica y Medio Ambiente de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), aproximadamente 25 veces la extensión del territorio Colombiano. Por otra parte, el Instituto alemán Max Planck especialista en meteorología, advierte que grandes cambios climáticos transcurrirán más rápido de lo normal en este siglo.

La mutua relación entre estos dos problemas ambientales, hace que las medidas y estrategias realizadas por los Protocolos de Kyoto y Montreal se deban dirigir al uso de sustancias alternativas que minimicen el cambio climático, a la vez que protejan la capa de ozono. Es así, como el uso de sustancias libres de fluorocarbonos, como los hidrocarburos, se convierte en una alternativa viable en el ámbito ambiental y económico, comprobado a escala mundial.

La aproximación de las implicaciones del uso de hidrocarburos, en el sector de refrigeración doméstica y comercial y otros usos de frío en Colombia, demuestra como, a través de la reconversión industrial, se puede lograr la reducción de emisión de GEI, a la vez que se obtienen incentivos económicos generados por el amparo del Protocolo de Kyoto por medio del mecanismo de participación MDL.

## **LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS**

ANDI: Asociación Nacional de Industriales.

UV: Ultravioleta, radiación.

CC: Cambio Climático.

CERs: Reducciones Certificadas de Emisiones (por sus siglas en inglés)

CFC: Clorofluorocarbonados.

CMNUCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

CO<sub>2</sub>: Dióxido de Carbono.

CO<sub>2</sub>-eq: Dióxido de carbono equivalente.

GEI: Gases efecto invernadero.

GETE: Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica del Protocolo de Montreal.

GMCC: Grupo de Mitigación del Cambio Climático.

HC: Hidrocarburos.

HCFC: Hidroclorofluorocarbonados.

HFC: Hidrofluorocarbonados.

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

IPCC: Intergovernmental Panel on Change Climate.

MAVDT: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

MDL: Mecanismo de Desarrollo Limpio.

O<sub>3</sub>: Ozono.

PAO: Potencial Agotamiento de Ozono.

PCG: Potencial Calentamiento Global.

PDD: Documento del Diseño del Proyecto (por sus siglas en inglés)

PFC: Perfluorocarbono.

PM: Protocolo de Montreal.

PNE: Plan Nacional de Eliminación.

PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

PP: Programa País.

RCEs: Reducciones Certificadas de Emisiones.

R&R: Recuperación y reciclaje.

SAO: Sustancia Agotadora de Ozono.

SENA: Servicio Nacional de Aprendizaje.

UTO: Unidad Técnica de Ozono.

## GLOSARIO

**Biosfera:** Se refiere a la naturaleza y todo aquello que alberga vida.

**Capa de ozono:** Zona de la estratósfera donde se encuentra la mayor densidad de átomos de Ozono. Se encuentra entre los 10 y 50 Km. de altura y es la que absorbe la radiación ultravioleta nociva para los seres vivos permitiendo su existencia.

**Cambio climático:** Es el aumento de la temperatura media de la Tierra, lo cual tiene efectos negativos sobre el clima, geografía, ecosistemas y poblaciones humanas.

**Clorofluorocarbonos (CFC):** Sustancias químicas perjudiciales para la capa de ozono por su volumen de consumo. Están compuestas por flúor, carbono y cloro; inocuas para el ser humano, no inflamables ni venenosas. Utilizados en refrigeradores, aires acondicionados, aerosoles y plásticos expansibles.

**Coeficiente de funcionamiento (COP):** Coeficiente que expresa la eficiencia de un sistema de refrigeración. Es una relación adimensional definida por la siguiente expresión:

$$COP = \frac{\text{Efecto refrigerante Útil}}{\text{Energía Neta suministrada por Fuentes Externas}}$$

**CO<sub>2</sub>-equivalente:** Cantidad de dióxido de carbono que podría causar el mismo grado de forzamiento radiativo que una cantidad dada de otro GEI. Cuando se trata de concentraciones se refiere al forzamiento radiativo instantáneo causado por el GEI o su cantidad equivalente en CO<sub>2</sub>. Cuando se trata de emisiones se refiere al forzamiento radiativo integrado en el tiempo en un horizonte temporal determinado, causado por el cambio en la concentración producido por las emisiones.

**Confinamiento (refrigeración):** La aplicación de técnicas de mantenimiento o equipos especiales diseñados para impedir o reducir las pérdidas de refrigerante durante la instalación, funcionamiento, mantenimiento o eliminación de equipos de refrigeración.

**Depósitos:** La cantidad de sustancias contenidas en equipos existentes, reservas químicas, espumas y otros productos, que no han sido todavía liberados a la atmósfera.

**Desarrollo sostenible:** Combinación de un grado de desarrollo económico y de calidad de vida que no comprometa la capacidad del medio ambiente para sustentar a la población del futuro, proporcionando un grado de bienestar económico a las generaciones actuales y venideras, a la vez que se mantiene el buen estado del medio ambiente.

**Despresurización:** Eliminación del gas residual y de la presión que pueda tener un sistema de refrigeración.

**Drop-in:** Sustitución del refrigerante existente en el equipo de refrigeración por otro.

**Efecto Invernadero:** proceso natural que consiste en la retención de una determinada fracción de radiación solar que incide en la Tierra, por acción de ciertos gases presentes en la atmósfera.

**Estratósfera:** Parte muy estratificada de la atmósfera por encima de la tropósfera. Se extiende desde una altitud de unos 8 km en latitudes altas y de unos 16 km en los trópicos hasta una altitud de 50 km. Se caracteriza porque la temperatura sube con la altitud.

**Fluorocarbonos:** Halocarbonos que contienen átomos de flúor; incluyen a los CFC, HCFC, HFC y PFC.

**Forzamiento radiativo:** Cambio en la irradiación vertical neta (expresada en vatios por metro cuadrado) en la tropósfera, a raíz de un cambio interno o de un cambio en el forzamiento externo del sistema climático pero manteniendo constantes todas las propiedades troposféricas en sus valores no perturbados.

**Gases Efecto Invernadero (GEI):** Son gases presentes en la atmósfera de manera natural, como el dióxido de carbono, el vapor de agua, el metano y el óxido nitroso. Además de estos, el hombre produce y libera a la atmósfera otros GEI como los clorofluorocarbonos, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y el hexafluoruro de azufre; que aceleran el calentamiento global.

**Halocarbonos:** Compuestos químicos que contienen átomos de carbono y uno o más de los halógenos cloro, flúor, bromo o yodo. Los halocarbonos completamente halogenados contienen únicamente átomos de carbono y de halógenos, mientras que los halocarbonos parcialmente halogenados también contienen átomos de hidrógeno.

**Hidrocarburos:** Compuestos químicos que consisten de uno o más átomos de carbono rodeados únicamente de átomos de hidrógeno.

**Hidrofluorocarbonos (HFC):** Son sustancias químicas producidas por el hombre y utilizadas como sustitutos de los CFC, además son sustancias consideradas por el protocolo de Montreal como sustancias definitivas ya que al no poseer cloro en su molécula, tiene un efecto inofensivo en la capa de ozono.



**Impacto ambiental:** Acción o actividad realizada por el hombre que produce una alteración, favorable o desfavorable, en el medio ambiente o en alguno de sus componentes.

**Junta ejecutiva del Mecanismo de Desarrollo Limpio:** La Junta ejecutiva tiene la misión de supervisar el MDL. Está conformada por diez individuos de países que son Partes del Protocolo de Kyoto: un miembro de cada uno de los cinco grupos regionales de las Naciones Unidas, dos miembros pertenecientes a Partes Anexo I, dos de Partes no Anexo I y un representante de los pequeños estados insulares en desarrollo.

**Línea base:** Escenario hipotético más probable, que representa lo que hubiera ocurrido si el proyecto de Mecanismo de Desarrollo Limpio no se llevara a cabo.

**Nubes estratosféricas:** Nubes producidas por condensación de los gases en el vortex.

**Ozono:** Molécula formada por tres átomos de oxígeno, es un gas inestable que se crea y se destruye de forma natural.

**Ozono estratosférico:** Localizado entre los 10 y 50 Km. de altura, es un gas azulado y de olor fuerte, importante para la vida por su poder de absorción de rayos UV.

**Ozono troposférico:** Localizado cerca de la superficie terrestre o troposfera, a esta altura (10Km) es muy tóxico, considerado como un contaminante provocador de problemas ambientales como por ejemplo el Smog fotoquímico.

**Partes:** Estado que se acoge a un tratado por el cual, dicho tratado ha entrado en vigor.

**Partes Anexo I:** Bajo el artículo 3 y Anexo B del protocolo de Kyoto, estos países aceptaron compromisos de reducción de emisiones para el periodo 2008-2012, son los países europeos, Norteamérica, Japón, Australia y Nueva Zelanda.

**Partes no Anexo I:** Incluye todas aquellas Partes de la convención sobre cambio climático no listadas en el Anexo I de la convención, entre ellas Colombia.

**Perfluorocarbonos:** Halocarbonos producidos sintéticamente que contiene átomos de carbono y flúor. Se caracterizan por su estabilidad, por no ser inflamables, por su baja toxicidad y su nulo PAO pero alto PCG.

**Potencial de Agotamiento de Ozono (PAO):** Índice que permite comparar cualitativamente la agresividad de cada sustancia sobre el ozono, tomando como referencia el efecto del CFC11, al cual se le da el valor PAO = 1.

**Potencial de Calentamiento Global (PCG):** Índice que determina la medida o capacidad relativa de atrapar calor en una sustancia comparado con el dióxido de carbono, al cual se le da un valor de PCG = 1

**Plan Nacional de Eliminación (PNE):** Conjunto de estrategias diseñadas para el control del uso y sustitución definitiva de las SAO (Programas y proyectos).

**Programa País (PP):** Documento oficial en el cual se presenta un diagnóstico del país referente al uso de SAO (fabricación, consumo y sectores)

**Purga:** Término que se utiliza para describir el proceso de extracción del aire, vapores, polvo o humedad de un sistema de refrigeración, mediante la circulación a través de la tubería de un gas neutro como el nitrógeno, forzando hacia fuera el aire y los vapores que se desean eliminar.

**Rayos ultravioleta (UV):** Ondas electromagnéticas de corta longitud que se sitúan entre los 400 y 10 nanómetros, son emitidos por el sol e las formas UV-A, UV-B y UV-C. No están dentro del espectro visible del ojo humano.

**Reciclaje:** Proceso para reducir los contaminantes que se encuentran en un refrigerante usado.

**Recuperación:** Proceso para retirar un refrigerante en cualquier condición de un sistema de refrigeración, con la finalidad de almacenarlo, reciclarlo, regenerarlo o transportarlo.

**Reducciones Certificadas de Emisiones (CERs):** Son unidades de reducción de emisión de gases de efecto invernadero, dadas en toneladas de dióxido de carbono equivalente, que han sido expedidas de acuerdo con lo establecido en el Artículo 12 del protocolo de Kyoto y las modalidades y procedimiento del Mecanismo de Desarrollo Limpio.

**Refrigerante:** Cualquier cuerpo o sustancias que actúa como agente de enfriamiento absorbiendo calor de otro. Deben poseer diferentes características y propiedades químicas, físicas y termodinámicas que lo hagan seguro y económico durante su uso.

**Sustancias Agotadoras de Ozono (SAO):** Sustancias químicas que tienen la facultad de reaccionar con las moléculas de ozono de la atmósfera y destruirlas. Las SAO más comunes pertenecen a la familia de los CFC.

**Unidad técnica de Ozono (UTO):** Equipo de profesionales que funciona desde 1998, en cooperación con el gobierno nacional del país, administra los fondos, presenta y ejecuta los proyectos dirigidos a la minimización del consumo de SAO, no solo en la

reconversión industrial sino también en la divulgación y control preventivo de las causas del problema del agotamiento de la capa de ozono.

**Tropósfera:** Parte inferior de la atmósfera por encima de la superficie, donde están las nubes y ocurren los fenómenos meteorológicos. El espesor de la troposfera es de 9 km en promedio en latitudes altas, de 10 km en latitudes medias y de 16 km de los trópicos. En la tropósfera la temperatura desciende con la altitud.

**Vortex:** Masa de aire rotante en la cual las velocidades del viento pueden exceder los 300Km/h, logrando que la materia no pueda penetrar el vortex, el aire en su interior queda aislado y permanece frío durante varios meses.

# **1 OBJETIVOS**

## **1.1 Objetivo general**

Establecer avances en la formulación de un proyecto del Mecanismo de Desarrollo Limpio en el sector de refrigeración doméstica y comercial en Colombia, mediante la implementación de hidrocarburos como agentes refrigerantes en los procesos de manufactura, con el fin de minimizar los impactos generados a la capa de ozono y los efectos de calentamiento global.

## **1.2 Objetivos específicos**

- Realizar una aproximación al proceso de Mecanismo de Desarrollo Limpio para los sectores de refrigeración doméstica y comercial en Colombia;
- Establecer la situación actual del país en las empresas de refrigeración doméstica y comercial que emplean en la manufactura, importación y/o exportación equipos Refrigerante 134a (Diagnóstico del sector);
- Estimar y calcular la línea base del comportamiento del refrigerante 134a en el sector de refrigeración doméstica y comercial en Colombia.
- Elaborar la línea base del consumo futuro de energía eléctrica realizado por la operación de equipos de refrigeración doméstica y comercial en el escenario hipotético del uso de R134a.
- Estimar los beneficios económicos que traería el mercado de carbono, representado en toneladas de dióxido de carbono equivalente, con la implementación de hidrocarburos en el sector de refrigeración doméstica y comercial.

## 2 ASPECTOS METODOLÓGICOS

**2.1 Población:** Empresas colombianas dedicadas a la manufactura de equipos de refrigeración doméstica y comercial que usan como agente refrigerante HFC 134a.

**2.2 Criterios de selección:**

- Tamaño de la empresa: Empresas que tengan alta actividad en manufactura, importación y/o exportación de equipos de refrigeración doméstica y/o comercial con R-134a.
- Organización de la empresa: Empresas que cuenten con una base de datos de los equipos de refrigeración doméstica o comercial que usan R134a manufacturados, importados y exportados, al igual que una base de datos del R134a que la empresa consuma anualmente.

**2.3 Metodología**

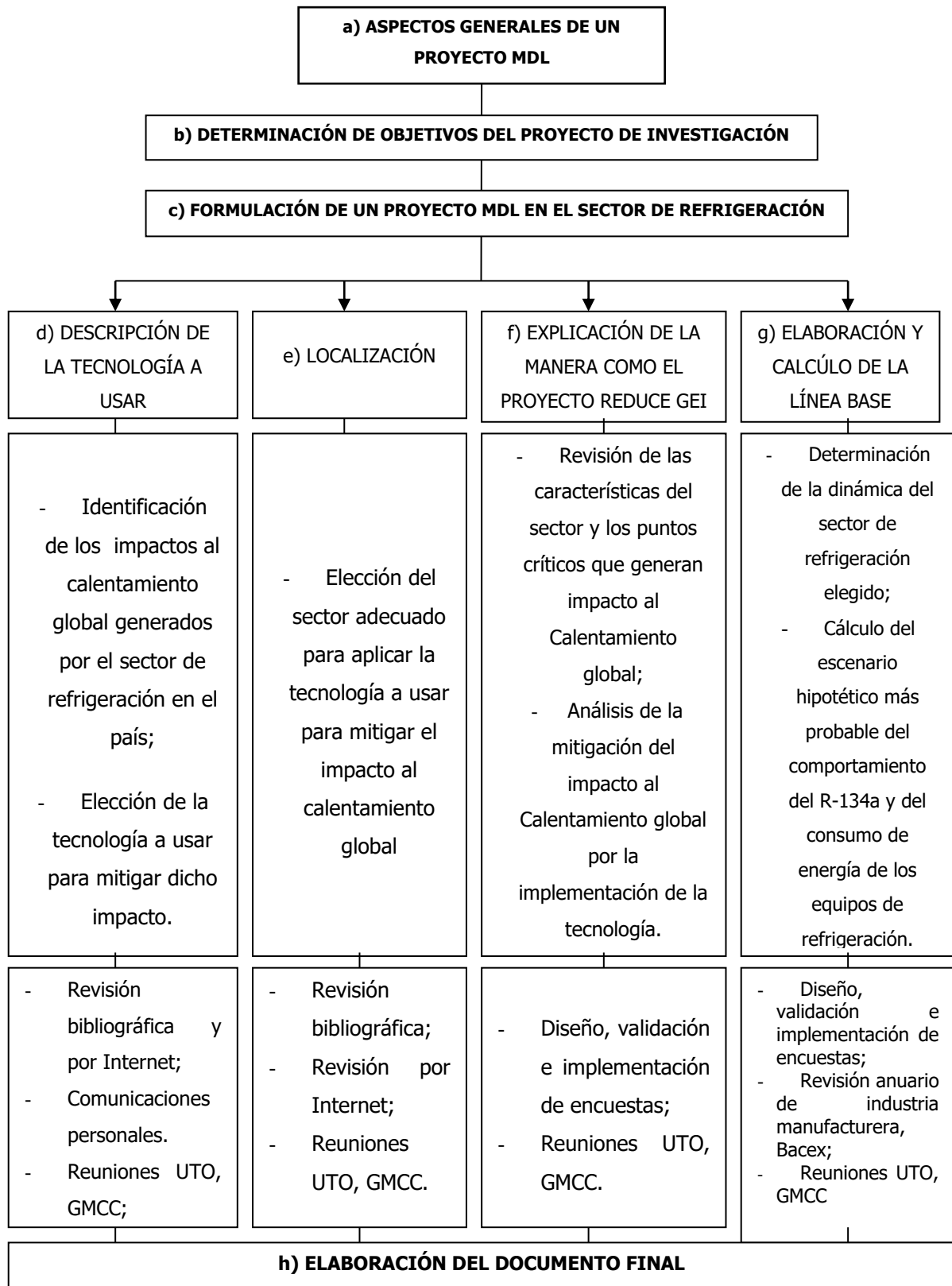
Para la elaboración del proyecto de investigación, se dividieron las actividades en las ocho fases siguientes:

- a) Aspectos generales de un proyecto MDL: La primera fase consistió en revisión bibliográfica y consulta en internet, además de reuniones con personal de la UTO y el GMCC, esto con el fin de conocer las características de un proyecto MDL y las condiciones para que el país pueda aplicar a la formulación de un proyecto de esta clase en el sector de refrigeración.
- b) Determinación de objetivos del proyecto de investigación: La fase anterior permitió establecer los alcances del proyecto de investigación dentro del marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio y de esta forma plantear los objetivos general y específicos. Esta fase contó con la participación y orientación del director y codirector del proyecto de investigación.
- c) Formulación de un proyecto MDL en el sector de refrigeración: Para llevar a cabo esta fase fue necesario realizar una serie de pasos descritos en el capítulo 4, al igual que en las fases anteriores se realizó una revisión bibliográfica y consultas en internet, reuniones con la UTO y el GMCC, además de comunicaciones personales con concedores del tema.
- d) Descripción de la tecnología a usar: En el capítulo 4 se explica como se eligió la tecnología adecuada para disminuir las emisiones de HFC 134a producidas por el sector

de refrigeración, esta fase contó con revisión bibliográfica, investigación en las experiencias a escala mundial del uso de dicha tecnología, comunicaciones personales y reuniones con la UTO y el GMCC.

- e) Localización: Luego de elegir la tecnología a usar se analizaron las diferentes características del sector de refrigeración en Colombia, con el fin de establecer en que subsector (industrial, comercial y/o doméstico) sería más factible la implementación de la tecnología a usar. Mediante reuniones con la UTO y el GMCC se estableció el subsector y la localización de sus industrias, de esta forma se estableció la localización del proyecto como requisito de la formulación de un proyecto MDL.
- f) Explicación de la manera como el proyecto reduce la emisión de GEI: Esta fase se desarrolló mediante el diseño, validación y formulación de una encuesta y una lista de chequeo dirigida a las industrias del sector (anexo 1), además de revisión bibliográfica y reuniones con la UTO y el GMCC.
- g) Elaboración y cálculo de la línea base: En esta fase fue necesario la revisión del anuario de industria manufacturera del DANE y los datos de importación y exportación del Banco de Datos de Comercio Exterior (Bacex) del Ministerio de Comercio, igualmente se incluyeron variables para la elaboración de la línea base en la encuesta y en la ficha técnica de la fase anterior, se revisaron las variables propuestas por la IPCC para el cálculo de la emisión directa e indirecta del HFC 134a y las metodologías de la modelación del futuro de ofertas y emisiones del refrigerante; igualmente se revisaron los archivos de la UTO pertinentes para el desarrollo de esta fase y también se realizaron reuniones con la UTO y el GMCC.
- h) Elaboración del documento final: Esta fase se llevó a cabo durante todo el desarrollo del proyecto, contando con la participación y orientación del director y codirector.

Diagrama de flujo: Metodología aplicada al proyecto de investigación



### 3 MARCO TEÓRICO

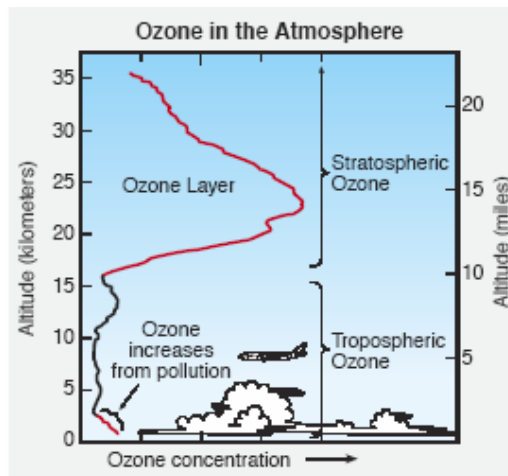
#### 3.1 DESTRUCCIÓN DE LA CAPA DE OZONO Y EL CALENTAMIENTO GLOBAL

##### 3.1.1 Capa de ozono

Se le llama así a la concentración máxima de ozono estratosférico presente en la atmósfera terrestre de manera natural. El ozono es una molécula altamente reactiva, conformada químicamente por tres átomos de oxígeno. Se extiende desde los 10 hasta 50 kilómetros de altura sobre la superficie terrestre y presenta un máximo de concentración de aproximadamente 10 ppm (UTO, 2004a).

Por medio de procesos atmosféricos naturales las moléculas de ozono se crean y se destruyen continuamente. La radiación Ultravioleta (UV) proveniente del sol descompone las moléculas de oxígeno en átomos, los cuales posteriormente se combinan con otras moléculas de oxígeno para formar el ozono y éste forma un frágil pero eficaz escudo contra la radiación ultravioleta nociva (UV-B)<sup>1</sup> para todas las formas de vida.

Figura 3.1: *Concentración del ozono en la atmósfera*



Fuente: pág. Web EPA

##### 3.1.2 Sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO)

Las acciones del hombre producen diferentes sustancias cloradas o bromadas, que pueden ocasionar perturbaciones en el equilibrio dinámico de la atmósfera, debido a sus características químicas que las hacen ser estables y contar con el suficiente tiempo de vida

<sup>1</sup> La radiación ultravioleta de menor longitud de onda (UV-C), es letal para todas las formas de vida y es bloqueada casi por completo. La radiación de mayor longitud (UV-A), es relativamente inofensiva y pasa casi toda en su totalidad o a través de la capa. Entre las dos está la UV-B, menos letal que la UV-C, pero peligrosa, la capa de ozono la absorbe en su mayor parte. *Ibid.*



como para alcanzar la altura de la estratosfera<sup>2</sup>. Estas sustancias en reacción con las moléculas de ozono, producen una reacción fotoquímica en cadena, la cual produce su destrucción. Casi siempre este proceso es más rápido en comparación con la formación de nuevas moléculas de ozono lo que hace que la concentración de ozono en la estratosfera se vea alterada.

Las SAO más comunes son los clorofluorocarbonos (CFC) empleados como agentes refrigerantes y espumantes, los halones como extintores, el tetracloruro de carbono, el metilcloroformo y el bromoclorometano como solventes; y el bromuro de metilo como plaguicida.

Los CFC son las sustancias a las que se les atribuye la responsabilidad de la disminución de la concentración de las moléculas de ozono, a pesar de que los halones posean un potencial de agotamiento de ozono mayor (Ver subtítulo 3.1.8), esta cualidad es debida a su producción y uso a gran escala desde el año 1928, cuando en Estados Unidos, químicos de la General Motors descubrieron que los CFC eran líquidos refrigerantes bastante eficaces, estables – razón de sus propiedades destructoras del ozono-, no tóxicos, de producción barata, muy versátiles y de almacenamiento fácil, lo que dio pie para crear una gama de productos químicos industriales (UTO, 2004a; p.3).

Sin embargo las medidas de control de emisión realizadas por el Protocolo de Montreal relativo a las SAO y sus enmiendas han mostrado porcentajes de reducción gracias a la implementación de sustancias sustitutas a los CFC menos nocivas para la capa de ozono. Colombia como país Parte del Protocolo de Montreal también demuestra porcentajes de reducción de CFC y avances en el uso de sustancias sustitutas como los HCFC y los HFC (Anexo 2)

### **3.1.3 Destrucción de la capa de ozono**

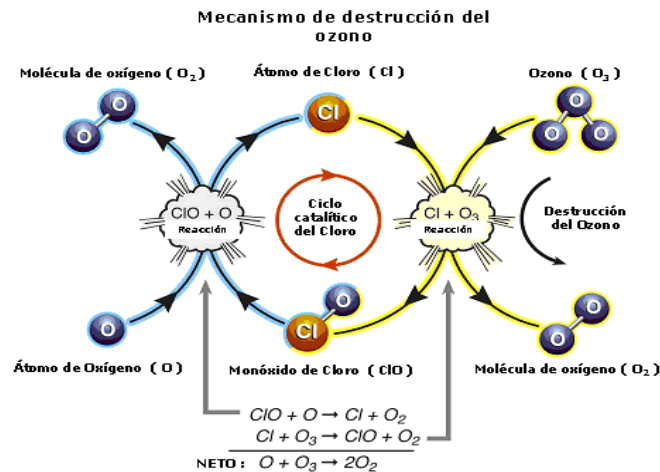
La estabilidad de los CFC permite que estos alcancen la altura de la estratosfera, donde los rayos UV separan el cloro de su molécula el cual reacciona fuertemente con las moléculas de ozono, las destruye, para luego combinarse con otras y de igual manera eliminarlas.

---

<sup>2</sup> La duración de vida destructiva de una SAO puede extenderse entre los 100 y 400 años, dependiendo de su tipo. (UTO, 2004b)

El proceso es altamente dañino, ya que en promedio un átomo de cloro logra destruir hasta 100 mil moléculas de ozono, el proceso se detiene finalmente cuando el radical libre de cloro reacciona con algún compuesto químico que lo neutraliza. (UTO, 2003; p.6).

Figura 3.2: *Esquema de destrucción de la molécula de ozono*



Fuente: Pág. Web IDEAM (2)

### 3.1.4 Efectos de la destrucción de la capa de ozono

La exposición a la radiación UV-B no representa peligro siempre y cuando sea de una forma moderada, por ejemplo, en los seres humanos hace parte del proceso de formación de la vitamina D en la piel.

Sin embargo, el aumento de los niveles de exposición puede producir efectos perjudiciales para la salud humana, los animales, las plantas, los microorganismos, los materiales y la calidad del aire.

En los seres humanos principalmente la exposición a radiaciones UV-B repercute en cáncer de piel maligno y no maligno, provoca daño a los ojos, además de disminuir las defensas inmunológicas naturales, aumentando el riesgo de enfermedades provocadas por bacterias y virus.

En los animales y plantas, se ha demostrado que la radiación UV-B tiene efectos en el crecimiento y en la reproducción del fitoplancton, lo cual afecta la cadena alimenticia en los ecosistemas<sup>3</sup>. Los efectos en las plantas traen consigo pérdidas en los sistemas productivos.

Los daños en materiales expuestos a la radiación varían desde el decoloramiento hasta la pérdida de fuerza mecánica o hasta destruirlos más rápidamente. Por otro lado, la disminución del ozono estratosférico repercute en efectos en la troposfera, zona que ya es objeto de la contaminación producida por la emisión de gases de vehículos e industrias<sup>4</sup>, además de formar parte del smog fotoquímico conocido como lluvia ácida.

### **3.1.5 Efecto invernadero y Calentamiento global**

Según el PNUMA (como se cita GMCC, 2004, p.7), del total de la energía radiada por el sol que alcanza el planeta, 30% es reflejada al espacio por las capas exteriores de la atmósfera y el 70% restante alcanza la superficie de la tierra, el planeta a su vez irradia esta energía de vuelta al espacio en forma de radiación de onda larga o infrarroja, manteniendo así el equilibrio térmico.

Una fracción de esta radiación es absorbida por ciertos gases presentes en la atmósfera de manera natural, este fenómeno es llamado efecto invernadero. Debido a estos gases la energía irradiada por el sol no es reflejada nuevamente a la atmósfera a la misma velocidad del proceso inverso. La acción de estos gases conocidos como gases de efecto invernadero (GEI), hacen que el proceso de intercambio de energía sea lento, permitiendo que la temperatura de la Tierra sea moderada y creando condiciones adecuadas para el desarrollo de la vida en el planeta.

El problema radica al iniciar la industrialización, cuando las actividades industriales, agrícolas, forestales y de transporte, combinadas con la disminución de zonas boscosas capaces de fijar el carbono de la atmósfera, dieron paso a un aumento en la concentración de GEI (UTO, 2004b; p.11). Este incremento genera un desequilibrio en el balance térmico del planeta, que se traduce en un aumento en su temperatura<sup>5</sup>.

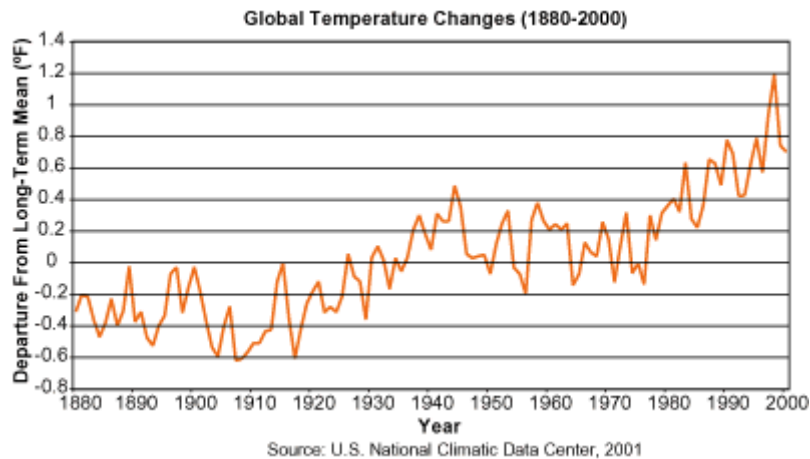
---

<sup>3</sup>Una disminución en la cantidad del fitoplancton marino despojaría a los océanos de su potencial como colectores de dióxido de carbono, contribuyendo así a un aumento del gas en la atmósfera y al calentamiento global consecuente.

<sup>4</sup> El ozono a nivel del suelo es un contaminante que causa irritación en los ojos y en los pulmones.

<sup>5</sup> Se estima que en el transcurso del siglo XX, el incremento de la temperatura promedio de la superficie del planeta fue de 0.6°C (±0.2°C). (GMCC, 2004, p.7)

Figura 3.3: *Cambio en la temperatura global (1880-2000)*



Fuente: pág. Web EPA (1)

### 3.1.6 Gases de efecto invernadero (GEI)

Los gases de efecto invernadero presentes de manera natural en la atmósfera son el vapor de agua, el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Además de éstos, el hombre produce y libera en la atmósfera otros gases de efecto invernadero como los clorofluorocarbonos (CFC), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PCF) y el hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ), (GMCC, 2004; pp. 13,14).

Según el PNUMA, la distribución del efecto de los GEI sobre el planeta está representada en la siguiente tabla:

Tabla 3.1: *Gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera de manera natural y antrópica.*

GEI	Efecto invernadero	Fuente	Tendencia (IPCC, 2001)
CO <sub>2</sub>	60%	Combustión de combustibles fósiles (carbón, gas natural, petróleo y sus derivados). Deforestación	Desde 1750 la concentración de CO <sub>2</sub> en la atmósfera ha aumentado un 31% y las proyecciones establecen que para el año 2100 este incremento estará entre un 75% y 350%.
CH <sub>4</sub>	20%	Explotación, transporte y uso de combustibles fósiles. Fermentación entérica durante la digestión de animales rumiantes, descomposición de residuos sólidos y efluentes.	La concentración de CH <sub>4</sub> ha tenido un incremento del 151% desde 1750 y se estima que en los próximos cien años, esta concentración podría presentar una variación significativa.
N <sub>2</sub> O	aprox. 20%	Utilización de fertilizantes minerales y orgánicos en las actividades agrícolas, descomposición de estiércol del ganado, conversión de bosques a suelos de usos agrícolas.	El aumento de la concentración de N <sub>2</sub> O en la atmósfera desde 1750 ha sido de 17% y los modelos indican un aumento entre el 12% y 45% en el 2100
CFC		Equipos de refrigeración y aire acondicionado, fabricación de espumas aislantes, solventes, propelentes en aerosoles	Su concentración en la atmósfera está disminuyendo o aumentando a menor velocidad por la firma del Protocolo de Montreal.
HFC y PFC		Sustancias producidas por el hombre, utilizadas como sustitutos de los CFC. Los HFC son utilizados en equipos de refrigeración y aire acondicionado. Ambos GEI son usados como solventes y propelentes de aerosoles.	Aún cuando las concentraciones en la atmósfera de HFC y PFC son bajas, se están incrementando a gran velocidad
SF <sub>6</sub>		Aislante eléctrico en equipos de transmisión eléctrica y en los procesos de producción y transformación de magnesio	Las concentraciones son bajas, pero se incrementan a una razón de cerca del 60% anual

Fuente: Grupo de mitigación del Cambio Climático. MAVDT

Como se observa en la tabla 3.1, los CFCs y los HFCs no representan un porcentaje significativo en el efecto invernadero que generan, la razón de su importancia es su persistencia en la atmósfera además de presentar una tendencia al crecimiento a gran velocidad como es el caso de los HFCs.

### 3.1.7 Efectos del calentamiento global

Una primera consecuencia es el aumento de las sequías, en algunos lugares la disminución de la cantidad de lluvias y en otros su aumento, lo que provoca inundaciones y efectos nocivos en las tierras fértiles del planeta de las cuales dependen cientos de miles de personas para obtener alimentos. Una atmósfera más calurosa puede provocar que el hielo cerca de los polos se funda y que la cantidad de agua resultante eleve el nivel del mar. Durante el transcurso del siglo XX, el incremento de la temperatura hizo que el nivel de los océanos

subiera entre 10 y 20 cm. y las proyecciones establecen un incremento esperado del nivel del mar de entre 9 y 88 cm. en los próximos 100 años (GMCC; p.9). Otro efecto es el aumento en la frecuencia y fuerza de tormentas tropicales, tornados y huracanes.

El cambio climático acentúa la escasez de agua, contribuyendo a que se aumente la presión sobre este recurso, pasando de 1.7 billones de personas que no disfrutaban del mismo actualmente a alrededor de 5 billones en el 2025 (GMCC; p.9).

### **3.1.8 Unidades de Medida ambiental (PAO, PCG)**

La previsión de cambios en los próximos años, se basa íntegramente en modelos de simulación, la gran mayoría se han concentrado sobre los efectos de la contaminación de la atmósfera por gases invernadero y agentes agotadores de la capa de ozono. Con el fin de determinar cuánto daño causan estas emisiones se establecieron las siguientes unidades de medida ambiental (UTO, 2004b; p.12):

- **Potencial de agotamiento de ozono (PAO):** Es la habilidad que tienen las sustancias para agotar la Capa de Ozono. A cada sustancia se le asigna un PAO relativo al CFC-11 cuyo PAO por definición tiene el valor de 1.
- **Potencial de calentamiento global (PCG):** Es la habilidad de un gas, de absorber radiación infrarroja. Es una estimación del calentamiento atmosférico resultante de la liberación de unidades de masa de un gas, en relación con el calentamiento resultante de la liberación de la misma cantidad de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).

Figura 3.4: Valores de Potencial de Agotamiento de Ozono (PAO) de las sustancias refrigerantes más utilizadas en la industria

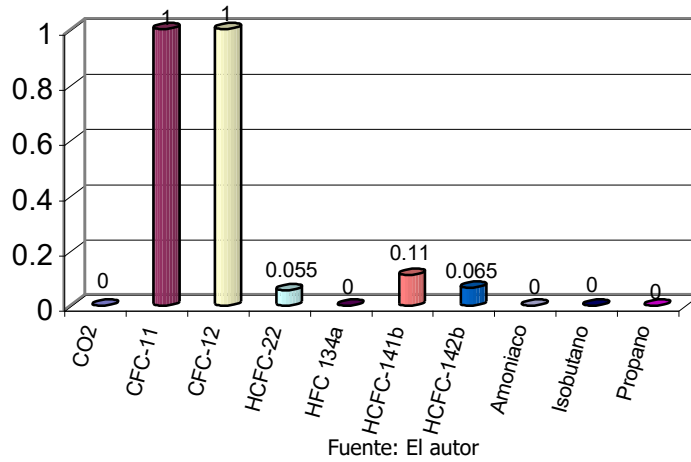
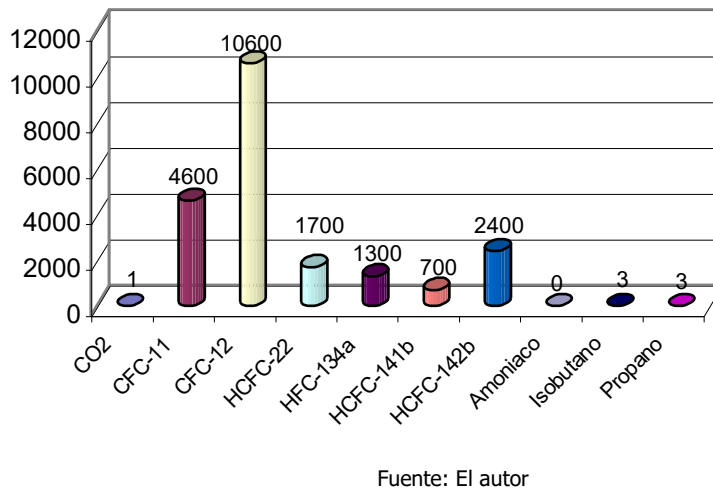


Figura 4.5: Valores de Potencial de Calentamiento Global (PCG) de las sustancias refrigerantes más utilizadas en la industria



### 3.1.9 Relación entre calentamiento global y agotamiento de la capa de ozono

En primera instancia, el agotamiento de la capa de ozono es causado por la acción de un grupo de compuestos químicos emitidos principalmente por la actividad industrial que perjudican su función protectora de los rayos UV-B; el calentamiento global, es generado principalmente por la emisión de gases de combustión que al acumularse actúan como un blindaje de la radiación infrarroja atrapando parte de ésta, lo cual provoca un aumento de la

temperatura del planeta. Si bien es cierto son dos problemas diferentes, aunque con algunos aspectos en común.

Primero, la penetración de la radiación UV en la tropósfera, como consecuencia de la pérdida de ozono, puede influir en los procesos fotoquímicos de la biosfera, perjudicando la mayor parte de la biota marina y terrestre, a través de una disminución de la productividad, afectando así la intensidad con que ésta absorbe el CO<sub>2</sub> atmosférico. Y consecuentemente, a menor captura de CO<sub>2</sub> mayor efecto invernadero.

Por otra parte, muchos de los gases que están produciendo agotamiento de la capa de ozono, también contribuyen al calentamiento global, como es el caso de los CFC y sus sustitutos, que aunque estos últimos no tienen efectos demostrados en la capa de ozono, algunos como los HFC y PFC tienen altos impactos en la temperatura del planeta y por esta razón están contemplados en la Convención Mundial del Cambio Climático (CMCC) y su Protocolo de Kyoto, de esta forma las opciones que se elijan para proteger la capa de ozono podrían repercutir en el cambio climático, y que a su vez podrían verse directamente reflejadas en la capa de ozono (Informe especial IPCC/GETE, 2005).

Para medir comparativamente ambos efectos, se propusieron índices cualitativos, de donde surgieron las unidades de medida ambiental ya descritas. Si se analizan estos valores (figura 3.4 y 3.5), puede verse que existen varias sustancias que generan ambos efectos indeseados, con lo cual al lograr su eliminación o disminución se protege la capa de ozono y se previene el calentamiento global (UTO, 2003; p.17).

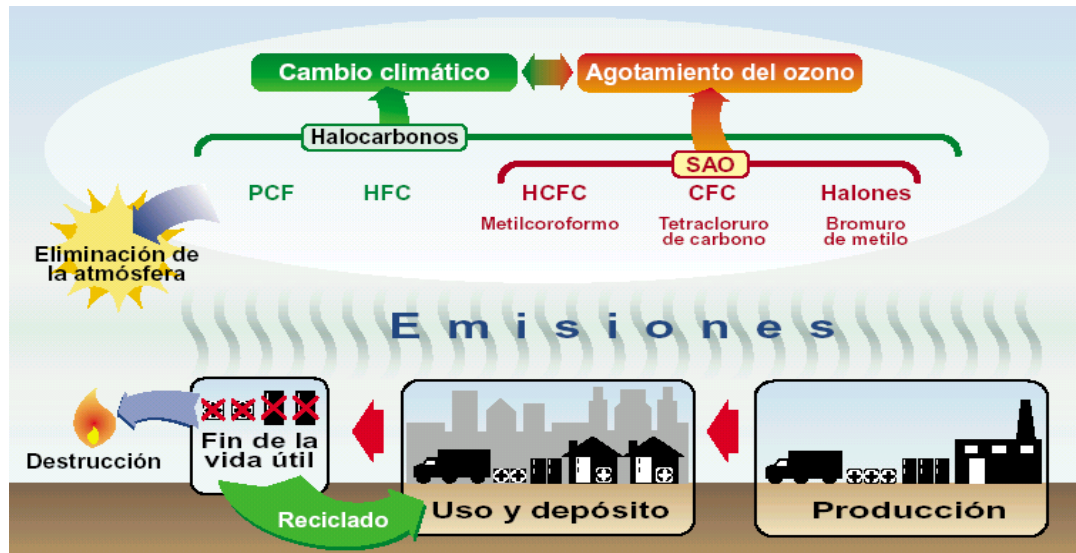
Los principales sectores que utilizan SAO y HFC o PFC como productos sustitutos son la refrigeración, el aire acondicionado, las espumas, los aerosoles, los equipos de protección contra incendios y los disolventes. Aunque estas sustancias difieren en su PCG y en su tiempo de vida en la atmósfera, las causas de las fugas son generalmente las mismas, estas se originan durante su fabricación, operación, mantenimiento y disposición final, en cualquier liberación no intencional de subproductos, en aplicaciones con emisiones intencionales y en la evaporación de los depósitos almacenados en los equipos, aspectos que hay que considerar a la hora de evaluar los efectos de estas sustancias en la capa de ozono y en el calentamiento mundial.

La figura 3.6 muestra las fuentes de emisiones de SAO y de GEI y sus efectos; sin embargo, es necesario tener en cuenta aspectos que podrían disminuir el porcentaje de emisiones de



estas sustancias a la atmósfera; por ejemplo, el uso de buenas prácticas laborales durante los procesos de producción y mantenimiento de equipos y procesos adecuados para su eliminación o disposición final.

Figura 3.6: *Diagrama esquemático de los principales aspectos considerados en la relación capa de ozono - calentamiento global.*



Fuente: Informe especial IPCC/GETE

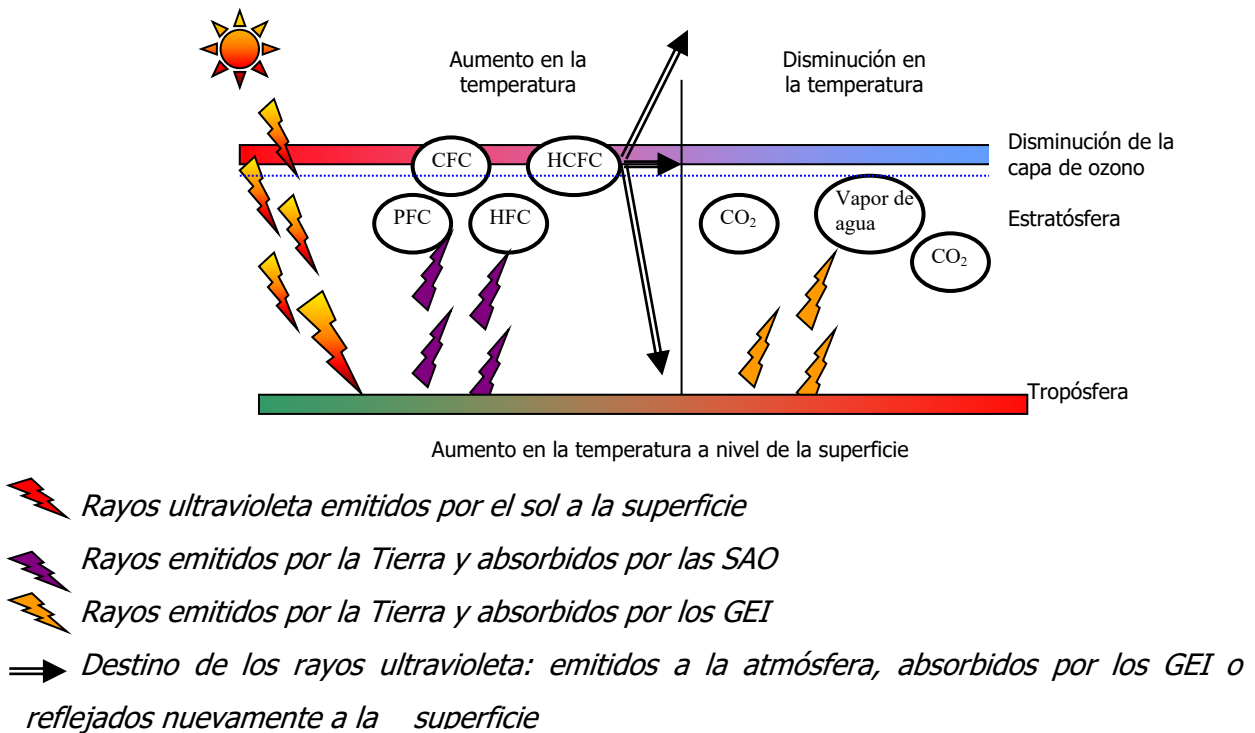
Los efectos de las SAO y sus sustitutos en el calentamiento global se atribuyen a su capacidad para absorber la radiación infrarroja emitida por la Tierra en una gama espectral en la que la energía no es eliminada por el CO<sub>2</sub> o el vapor de agua. “Las moléculas de halocarbonos (CFC, HCFC, HFC, PFC) pueden ser miles de veces más eficientes en términos de absorber la energía radiante emitida por la Tierra que una molécula de CO<sub>2</sub>” (IPCC/GETE)

El agotamiento del ozono estratosférico y los cambios climáticos provocados por sustancias químicas están relacionados de varios modos, pero su evaluación definitiva aún no ha sido establecida, debido a la complejidad de las variables involucradas en el comportamiento de la atmósfera y el clima y su relación con la biosfera (UTO, 2003; p.18). Aunque existen ciertas relaciones causa-efecto claramente identificadas:

Las consecuencias generadas por la presencia del CO<sub>2</sub> y el vapor de agua son el calentamiento de la troposfera al absorber la radiación emitida por la Tierra, esta acción ocasiona a su vez el enfriamiento de la estratosfera. La presencia de halocarbonos calienta tanto la troposfera como la estratosfera, pues además de que absorben la radiación emitida

por la Tierra, agotan la capa de ozono favoreciendo la emisión de rayos UV-B provenientes del sol a la Tierra (Figura 3.7). El desbalance que ocasionan las sustancias en la entrada y salida de energía del sistema Tierra-atmósfera es llamado efecto o forzamiento radiativo, el cual puede ser directo mediante la absorción y emisión de radiación o puede ser indirecto mediante las interacciones químicas que influyen en otros gases y partículas de efecto invernadero, se expresa en vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ )

Figura 3.7: Consecuencias de la emisión de GEI y SAO a la atmósfera.



Fuente: El autor

El efecto de los halocarbonos sobre los problemas relacionados al agotamiento de la capa de ozono y al calentamiento global están directamente relacionados con el tiempo de permanencia en la atmósfera una vez que son emitidos. La mayoría de los CFC se eliminan al cabo de 50 a 100 años a diferencia de los HCFC y HFC que gracias a procesos químicos de oxidación se van eliminando en la troposfera y su tiempo de permanencia disminuye a periodos de un año y algunos decenios. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el uso de estas sustancias se está incrementando y que se prevé que sus depósitos son en cantidad iguales a las concentraciones medidas en la atmósfera. Los PFC tienen moléculas inertes y

sus efectos en el clima durante su permanencia en la atmósfera pueden llegar a superar los 1000 años (IPCC/GETE, 2005b; p.19).

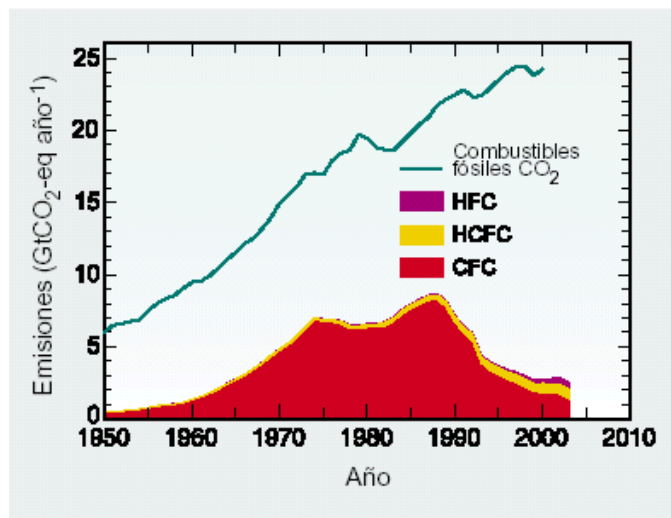
El largo tiempo de vida de sustancias como los CFC es la causa de que años después de su emisión su acción destructiva de la capa de ozono siga en la actualidad, el fenómeno del agotamiento de la capa de ozono es otro factor determinante para su relación con el calentamiento global. Las moléculas de ozono absorben la radiación ultravioleta del sol calentando la estratósfera y a su vez absorben la radiación infrarroja emitida por la tierra atrapando el calor en la tropósfera. Por consiguiente, la disminución del ozono tiende a enfriar la estratósfera y la superficie de la tierra.

El aumento en la temperatura de la Tierra causado por las SAO y el enfriamiento vinculado al agotamiento del ozono son dos mecanismos claramente diferenciados, que se rigen por interacciones y procesos físicos diferentes; sin embargo, estos dos fenómenos no se compensan entre si, ya que los efectos en el clima de la superficie no tienen la misma distribución espacial ni estacional (IPCC/GETE, 2005; p.24).

Por otra parte, gracias a los esfuerzos del Protocolo de Montreal las concentraciones de cloro y bromo en la atmósfera han disminuido y probablemente se seguirá esta tendencia en los próximos años, además el uso de sustancias alternativas también contribuye a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente, pues en general, estas sustancias tienen un PCG menor a los agentes tradicionales. Es decir, aunque algunas medidas de control de emisiones de SAO propuestas por el PM favorecen al calentamiento global, los efectos perjudiciales en el clima serían mayores si no se hubiera implementado el uso de sustancias sustitutas, y podrían ser comparados los efectos generados por la quema de combustibles fósiles y a la producción de cemento (Figura 3.8).

Sin embargo, si no se mitiga la emisión de GEI los cambios en el clima y los efectos en la composición química podrían influenciar en el enfriamiento de la estratosfera, lo que daría las condiciones adecuadas para la formación de nubes estratosféricas, y de esta forma el tiempo de permanencia en la atmósfera del cloro y el bromo aumentaría retardando la recuperación de la capa de ozono.

Figura 3.8: Emisiones directas de GEI y SAO ponderadas en función del PCG



Fuente: Informe especial IPCC/GETE

También podrían producirse cambios en la circulación estratosférica como consecuencia del incremento de los GEI, lo que podría determinar un aumento o una reducción del ozono en las latitudes medias o en los polos. El resultado neto que tendrán las emisiones futuras de GEI en el ozono mundial dependerá de la combinación de estos efectos, cuya magnitud y dirección aún no se han cuantificado suficientemente (IPCC/GETE, 2005b; p.36).

Según el mismo informe, existen opciones técnicas para reducir las emisiones directas de GEI, en los sectores que consumen SAO y sus sustitutos, mediante:

- Un mejor confinamiento de las sustancias;
- La reducción de la carga de sustancias en los equipos y productos;
- La recuperación y el reciclado de sustancias al término de la vida útil;
- Un mayor uso de sustancias alternativas con un PCG insignificante o reducido y
- El uso de tecnologías que no dependan de los fluorocarbonos.

Y las emisiones indirectas pueden reducirse mediante el aumento de la eficiencia energética de los equipos y procesos. También se pueden encontrar instrumentos legislativos para el control de emisión de GEI y SAO, como por ejemplo reglamentaciones, incentivos financieros y acuerdos voluntarios. Casi todas las categorías de instrumentos normativos mencionadas se

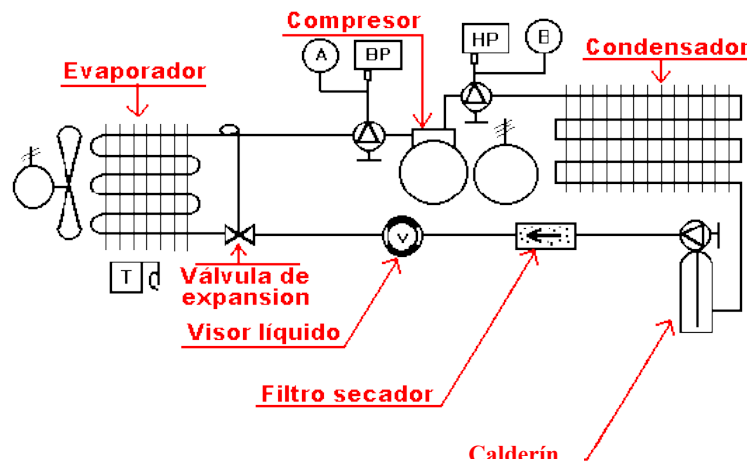
han tomado en cuenta o se han aplicado para reducir el uso o las emisiones de SAO y sus sustitutos, como los HFC y los PFC. Además, las políticas generales sobre la energía o el clima repercuten en las emisiones indirectas de GEI derivadas de aplicaciones que contienen SAO (Anexo 3)

## 3.2 REFRIGERANTES Y SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

### 3.2.1 Sistemas de refrigeración

Un sistema de refrigeración está conformado por diferentes componentes, los cuales en conjunto permiten su adecuado funcionamiento. En la figura 3.9 se muestra el esquema de un sistema de refrigeración el cual se explica a continuación.

Figura 3.9: Esquema de un sistema de refrigeración



Fuente: Pág. Web frigorista

**Compresor:** Aspira el vapor del fluido que se forma en el evaporador y comprime dicho vapor hasta llevarlo a la presión de condensación. Existen diferentes tipos de compresores: abiertos, semiherméticos y herméticos; diferenciados según el montaje del motor eléctrico y el compresor y por su forma de acceso o desmonte.

**Válvula de expansión:** Controla la distribución del líquido dentro del evaporador para que éste pueda expandirse. Es el elemento que asegura la alimentación del fluido frigorífico al evaporador, para poder llenarla de líquido según las necesidades caloríficas.

**Evaporador:** Permite la absorción de los calores que tenga alrededor por el fenómeno de "absorción de calor", es decir, cuando el líquido empieza a cambiarse de estado líquido a gas.

Existen diferentes tipos de evaporadores pero las diferencias entre estos son mas de forma que de funcionamiento.

*Condensador:* Recibe los gases sobrecalentados en alta presión, los enfría de tal manera hasta cambiar su estado de gas a líquido (siempre en alta presión). Lo anterior, para poder alimentar la válvula de expansión con el líquido necesario hasta producir una buena evaporación. Existen diferentes tipos de condensadores: condensador a aire forzado, a serpentina horizontal y el condensador multitubular horizontal.

*Calderín:* O "botella de líquido", dentro de sus funciones alimenta la válvula de expansión de manera permanente con la ayuda del tubo interno sumergible y es un buen recuperador de líquido en caso de intervención, carga una capacidad de líquido suficiente para mantener un buen funcionamiento de la instalación.

*Visor de líquido:* indica el estado del fluido frigorífico en el conducto del líquido de la instalación, la existencia de humedad en el circuito y además, se puede utilizar para indicar la entrada de aceite al compresor viniendo del separador de aceite.

*Filtro secador:* también conocidos como filtros deshidratadores cuya función es eliminar con eficacia: La humedad, los ácidos nocivos y las partículas perjudiciales.

### 3.2.2 Ciclo de refrigeración

El ciclo de funcionamiento de un sistema de refrigeración a partir del compresor se muestra en la figura 3.10:

Figura 3.10: *Ciclo de refrigeración*



Fuente: Millán & Hilarion

En donde      1: Compresor              2: Evaporador              3: Válvula de expansión  
                  4: Condensador            5: Válvula de 4 vías

Dentro del ciclo se da la evaporación donde el calor entra en el sistema de refrigeración por radiación sobre las paredes del refrigerador, por conducción a través del aislamiento y por convección dentro del circuito de aire en el interior del refrigerador; por las entradas de objetos a temperaturas altas y por la apertura de puertas. Este calor sensible se dirige hacia las paredes del evaporador, provocando la ebullición del refrigerante líquido y convirtiéndose en calor latente de evaporación.

Durante la compresión dicho refrigerante evaporado es aspirado por el compresor, en el que al ser comprimido en un espacio reducido aumenta de temperatura y por consiguiente de presión, pasando al condensador. Así, en la etapa de condensación la temperatura del refrigerante, en estado de vapor y comprimido, es superior a la del medio de enfriamiento (aire o agua), absorbiendo este el calor latente y dando lugar a la condensación del refrigerante que fluye entonces a presión y en estado líquido al depósito, de donde se dirige nuevamente al evaporador para la repetición del ciclo.

### **3.2.3 Refrigerantes**

Según el manual de buenas prácticas en servicio y mantenimiento de equipos de refrigeración, se conoce como refrigerante a todo cuerpo o sustancia que actúa como agente de enfriamiento absorbiendo calor de otro cuerpo o sustancia. En lo que se refiere al ciclo de compresión de vapor, se conoce como el fluido de trabajo del ciclo el cual se vaporiza y se condensa absorbiendo y cediendo calor, respectivamente.

Para que un refrigerante pueda ser empleado en el ciclo de compresión de vapor, debe poseer ciertas propiedades físicas, químicas y termodinámicas de forma que sea eficiente, seguro y económico durante su uso (Millán & Hilarión, 2003; Anexo C).

Los refrigerantes están representados por halocarburos, hidrocarburos y algunos compuestos orgánicos entre otros.

### **3.2.4 Propiedades de los refrigerantes**

En términos generales, las propiedades termodinámicas, químicas y físicas de los refrigerantes son las siguientes (OTOZ, 2002; p 197):

- Presión a las temperaturas de evaporación y de condensación
- Punto de congelación
- Volumen utilizado por tonelada de refrigeración
- Potencia por tonelada de refrigeración y coeficiente de funcionamiento
- Viscosidad
- Conductividad térmica
- Estabilidad
- Inflamabilidad
- Toxicidad
- Compatibilidad con materiales de construcción
- Daños a los productos refrigerados
- Tendencia a las fugas y detección
- Acción sobre el aceite
- Tensión superficial
- Costo

### 3.2.5 Refrigerantes alternativos

Son agentes refrigerantes competitivos a los tradicionales en cuanto a las diferentes características y propiedades termodinámicas, químicas y físicas de los refrigerantes tradicionales, además de su impacto ambiental. Sin embargo, es incorrecto asegurar que una u otra sustancia tiene un impacto ambiental negativo nulo, siempre existirán efectos directos o indirectos con el medio ambiente aunque unos con mayor magnitud que otros.

Entre las sustancias refrigerantes se pueden buscar agentes por tres diferentes caminos<sup>6</sup>: los que contienen flúor, cloro o hidrógeno, cada uno con diferente impacto ambiental.

En el caso de los que contienen cloro, su potencial de destrucción de las moléculas de ozono, las hacen una solución poco o nada adecuada para satisfacer el sector de refrigeración y al mismo tiempo proteger el medio ambiente. Un átomo de cloro combinado con una molécula de ozono la destruye y queda nuevamente libre hasta destruir aproximadamente 100.000 moléculas de ozono y por ende los problemas que esto implica para el planeta y sus diferentes formas de vida, además de ser potentes agentes efecto invernadero<sup>7</sup>, ejemplo: CFC y HCFC.

Los hidrocarburos fluorados pueden no tener un impacto ambiental negativo para la capa de ozono, pero tienen la capacidad de absorber la radiación de onda larga emitida por la superficie de la Tierra y hacer que el proceso de intercambio de energía entre la atmósfera y la Tierra sea lento y se manifieste en un aumento de temperatura, es decir, el exceso de

<sup>6</sup> J. Sánchez. (Com. Personal, diciembre de 2005)

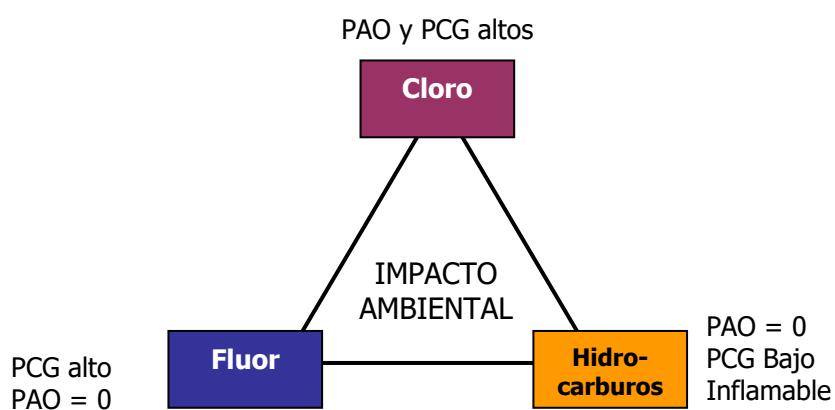
<sup>7</sup> El protocolo de Kyoto considera los CFC como GEI aunque no controla su consumo por el sector de refrigeración, ya que las medidas de control son ejercidas por el Protocolo de Montreal.



sustancias fluoradas en la atmósfera favorecen al calentamiento global, una de las razones por las cuales se separa de las sustancias menos nocivas para el ambiente, ejemplo: HFC

Por último, encontramos los hidrocarburos no halogenados que como ya se mencionó, también pueden causar impactos ambientales. Aunque son inocuos para la capa de ozono y tienen bajo potencial de calentamiento global, su poder de inflamabilidad hace necesario invertir en medidas de seguridad adecuadas. Sin embargo, entre los tres caminos de sustancias refrigerantes este puede ser el más amigable con el ambiente y se pueden encontrar fuentes de financiación para las medidas de seguridad necesarias, ejemplo: Propano e isobutano.

Figura 3.11: *Sustancias refrigerantes alternativas*



Fuente: El autor

### 3.2.5.1 REFRIGERANTE HFC-134a.

Dentro de los refrigerantes alternativos, encontramos el R-134a o 1,1,1,2-Tetrafluoroetano  $CF_3CH_2F$ , el cual ha sido exhaustivamente evaluado en estudios toxicológicos, mostrando que posee una toxicidad muy baja y que es seguro (Millán & Hilarión, 2003, p.104); además de poseer un PAO nulo, razón por la cual es considerado sustancia definitiva por el PM.

Tabla 3.2: *Propiedades físicas del refrigerante HCF-134a<sup>8</sup>*

PROPIEDADES	UNIDADES	VALOR
Peso molecular		103,03
Punto de ebullición	psia °F	-15,2
Punto de fusión	°F	-162,4

<sup>8</sup> Las propiedades se presentan para 99,98% en peso de R-134a.

Temperatura crítica		°F	213,8
Presión crítica		psia	588,1
Densidad crítica		lb/ft <sup>3</sup>	31,785
Constante de Trouton		Btu/lb R	0,2098
Densidad (líquida)	70°F	lb/ft <sup>3</sup>	76,255
Densidad (vapor de saturación) al punto de fusión normal		lb/ft <sup>3</sup>	0,3287
Calor específico (líquido)	40 – 80°F	1/°F	0,001605
Calor específico (vapor)	70°F	Btu/lb R	0,336
Calor latente de vaporización (gas ideal)		Btu/lb R	0,97
Tensión superficial		lb/in	4-911E-5
Conductividad térmica (líquido)	70°F	Btu/ft h R	0,05007
Conductividad térmica (vapor saturado)	70°F	Btu/ft h R	7 737E-3
Presión de vapor	70°F	psia	85,43
Viscosidad (líquida)	70°F	lb/ft h	0,531
Viscosidad (vapor)	70°F	lb/ft h	0,0335
Solubilidad en agua	68°F 14,7 psia	% wt	0,0773

Fuente: Millán & Hilarión

De acuerdo con el Manual de Buenas Prácticas de Cuba (2002), el refrigerante 134a presenta ciertas problemáticas que han provocado que muchos fabricantes hayan dejado de usarlo. Incluso algunos países europeos han decidido dejar de usarlo totalmente. Estas son:

- No son miscibles con aceites minerales, es más peligroso de manipular (al contacto con la piel es más peligroso) y absorbe más rápido la humedad del ambiente;
- Es necesario usar aceites sintéticos los cuales son más costosos;
- Posee un alto PCG.

### 3.2.5.2 Disponibilidad del HFC 134a

Según el informe especial realizado por la IPCC y el GETE (2005; p.46), no se encuentran datos que permitan hacer proyecciones acerca de la disponibilidad en el futuro de R-134a, aunque al no existir prohibiciones, límites ni términos legales para su producción se prevé que la disponibilidad del refrigerante podrá abastecer la demanda de los sectores que lo

consumen. La capacidad mundial para suplir el mercado podría ir en aumento, pues el uso de esta sustancia como agente sustituto a los CFC y HCFC cada vez es mayor, sobre todo en países en vía de desarrollo.

Existen varias plantas dedicadas a la producción de HFC 134a en países desarrollados y una en México (Dupont), con perspectivas de instalar otras. Sin embargo, las medidas de control de emisiones de GEI y el uso de sustancias libres de fluorocarbonos, podría repercutir en la demanda, capacidad de producción y el volumen efectivamente producido (IPCC/GETE, 2005; p.46).

Colombia como país en vía de desarrollo y en el cual el uso de HFC 134a esta creciendo, podría aumentar la demanda y capacidad de su producción, aunque al no contar con plantas dedicadas a la fabricación de esta sustancia, el país se somete a los problemas de vulnerabilidad frente al mercado de divisas, y a la dependencia por la necesidad de existir un intermediario mayorista para suplir la demanda del sector de refrigeración.

### **3.3 DIAGNÓSTICO DEL SECTOR DE REFRIGERACIÓN A ESCALA MUNDIAL**

#### **3.3.1 Refrigeración doméstica:**

Formada principalmente por refrigeradores y congeladores domésticos. Representa una parte importante de la industria de la refrigeración dada la cantidad de unidades en servicio. Generalmente la sustancia refrigerante utilizada en este sector es el CFC-12, aunque por los impactos ambientales identificados actualmente se están fabricando esta clase de equipos con HFC 134a. Las unidades de refrigeración domésticas tienen un largo período de funcionamiento –un promedio de entre 10 y 30 años, están herméticamente cerradas, y las pérdidas de refrigerante mientras funcionan son mínimas. Sólo requieren mantenimiento anual aproximadamente un 13% del total de estos sistemas y la cantidad de refrigerante usado en dicho mantenimiento es pequeña en relación con la cantidad usada durante la fabricación de los refrigeradores.

La industria mundial de la refrigeración vende aproximadamente 56 millones de unidades al año y la demanda está aumentando particularmente en los países en desarrollo (UTO, 2004a, p.12).

#### **Refrigeración comercial:**

La refrigeración comercial se refiere al diseño, instalación y mantenimiento de sistemas que se tienen en establecimientos comerciales, en hoteles e instituciones que se dedican al

almacenamiento, exhibición y venta de productos como flores, medicamentos, alimentos y bebidas, con el fin de mantenerlos congelados y de esta manera ampliar la vida del producto. Esta categoría comprende equipos autónomos, instalaciones de prestación a distancia y cámaras frías prefabricadas en los que se almacenan los productos. Los sistemas comerciales son propensos a las fugas, porque el diseño del equipo normalmente incorpora una gran cantidad de juntas entre tuberías y todos los sistemas contienen gran cantidad de refrigerante. Casi la mitad de las pérdidas de refrigerante durante la vida de los equipos comerciales son resultado de fugas durante su funcionamiento. Este sector a su vez puede dividirse en subsectores dados por las siguientes actividades (UTO, 2004a, p.13):

- Tratamiento y almacenamiento comercial de alimentos

La mayor parte de los alimentos del mundo son refrigerados o congelados antes de ser tratados, almacenados y distribuidos. Muchos de estos sistemas de refrigeración contienen varias toneladas de refrigerante.

- Transporte refrigerado

Se usan sistemas de refrigeración en los contenedores de carretera, en barcos mercantes y de pasajeros.

### **3.3.2 Refrigeración industrial:**

Su uso es específicamente de proceso y almacenamiento a diferencia de la refrigeración comercial, por ejemplo plantas de hielo, plantas procesadoras y empacadoras de alimentos, cervecerías, industria de procesamiento de lácteos e industrias específicas. Según el diagnóstico del sector de refrigeración en Colombia estos sistemas funcionan durante unos 25-30 años y son usados en la industria química, petroquímica, petrolera, del gas y metalúrgica para purificar productos químicos, separar gases y recuperar materias primas.

### **3.3.4 Distribución del sector de refrigeración en Colombia**

De acuerdo con la información contenida en el Diagnóstico del sector de Refrigeración en Colombia realizado por la UTO, la distribución de este es la siguiente:

#### **3.3.4.1 Refrigeración doméstica:**

Existen 4 fabricantes de neveras domésticas y equipos similares en Colombia -MABE, CHALLENGER, INDUSEL (ABBA) y HACEB todos ellos incluidos en proyectos de reconversión industrial propuestos en el marco del Protocolo de Montreal. Actualmente, gracias a la legislación que prohíbe la fabricación e importación de neveras domésticas que funcionen con

CFC, el consumo que presenta el país es solo por la demanda del servicio de mantenimiento de estos equipos.

#### **3.3.4.2 Refrigeración comercial:**

Está representada principalmente en los equipos y sistemas de refrigeración utilizados para cubrir la cadena de transporte de alimentos en sus principales aspectos, desde el punto de producción hasta el punto de venta o consumo.

Es importante señalar que los equipos fabricados entre 1996 y 2002 están a la mitad de su vida útil por sistema de refrigeración con R-12 por lo tanto los mantenimientos están a la orden del día, con buena demanda en el mercado.

Los equipos de refrigeración comercial son variados tanto por sus partes componentes como por su uso final sin embargo, se ha adoptado la siguiente clasificación como una manera flexible de caracterizarlos:

- *Equipos estáticos:* Pueden ser divididos en tres categorías:
  - Equipos unitarios: todos sus componentes incluido el condensador están incorporados dentro del equipo y este es cargado con refrigerante en fábrica y vendido como unidad operacional (listo para usar). Ej.: gabinetes o mostradores de 3, 4 ó 5 bandejas, dispensadores, maquinas de helados, fuentes de agua, etc.
  - Equipos no unitarios: donde los compresores están localizados en un cuarto de maquinas separado principalmente usado en supermercados.
  - Sistemas remotos (splits): donde la unidad condensadora se encuentra separada del equipo de enfriamiento. Ej.: cuartos fríos.
- *Equipos móviles transporte refrigerado:* Pueden ser divididos en tres categorías:
  - Camiones refrigerados
  - Contenedores refrigerados
  - Barcos pesqueros

#### **3.3.4.3 Refrigeración industrial:**

Está representada por sistemas de refrigeración con grandes cargas de refrigerante utilizados como parte de instalaciones y procesos en serie principalmente en aplicaciones industriales, por ejemplo los chillers.

*Ensamblaje, instalación y carga:* Las empresas dedicadas a mantenimiento o fabricación en este sector realizan también procedimientos de ensamblaje, instalación y carga de equipos importados. Sus actividades se concentran en sistemas de refrigeración prefabricados para cuartos fríos o camiones y sistemas de aire acondicionado para vehículo.

### **3.4 MARCO NORMATIVO**

#### **3.4.1 Convención de Viena para la protección de la capa de ozono**

El Convenio de Viena es un tratado internacional en el cual se establece el marco general para la protección de la capa de ozono firmado por 28 países en marzo de 1985. Los países que se hicieron Parte de éste, quedaron bajo el compromiso de tomar las medidas apropiadas, de conformidad con las disposiciones de dicho Convenio y de los protocolos en vigor en que sean parte, para proteger la salud humana y el medio ambiente contra los efectos adversos que puedan resultar de las actividades humanas que modifiquen la capa de ozono<sup>9</sup>. Dentro de los compromisos, esta también el cooperar en las investigaciones y la vigilancia, compartir información sobre la producción y las emisiones de CFC y adoptar protocolos de control cuando sea necesario.

Este Convenio fue aprobado por el Congreso de la República de Colombia mediante la Ley 30 del 5 de marzo de 1990.

#### **3.4.2 Protocolo de Montreal (PM) relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono**

El PM suscrito en Montreal en 1987, es un acuerdo ambiental de carácter multilateral que contiene un exhaustivo programa para suspender la producción y el consumo de SAO, incluyendo medidas de control en la fabricación, exportación e importación de productos químicos que deterioran la capa de ozono.

El PM diferencia los compromisos de los países desarrollados (enmarcados en el artículo 2 del Protocolo) de los países en vía de desarrollo (enmarcados en el artículo 5), estando las medidas de eliminación dentro de un calendario más rápido para los países art. 2 que en los países art. 5.

---

<sup>9</sup> Convenio de Viena 1985. Artículo 2.

Mediante el PM se crean también las Unidades de Ozono, financiadas por el Fondo Multilateral, las cuales se encargan de garantizar la implementación del Protocolo en cada país miembro del mismo.

El Protocolo ha sido objeto de cinco series de ajustes en cuanto a las medidas de control, los cuales fueron acordados en las reuniones de las Partes en 1990 (Londres), 1992 (Copenhague), 1995 (Viena), 1997 (Montreal) y 1999 (Beijing). Estos ajustes han acelerado los calendarios de eliminación de las SAO. También ha sido objeto de cuatro enmiendas determinadas en las reuniones de las Partes en Londres, Copenhague, Montreal y Beijing, las cuales entraron en vigor en los años 1992, 1994, 1999 y 2002 respectivamente; destacándose entre estas la de Copenhague, ya que en esta se agregaron los HCFC, los hidrobromofluorocarbonos (HBFC) y el metilbromuro a los calendarios de eliminación y creó oficialmente el Fondo Multilateral como canal de transferencias financieras y de tecnología a los países en desarrollo.

### **3.4.3 Colombia en el Protocolo de Montreal.**

El Congreso de la República de Colombia aprobó el Protocolo de Montreal, relativo a las SAO, con sus enmiendas adoptadas hasta 1991, por medio de la Ley 29 del 28 de diciembre de 1992.

La participación de Colombia en el Protocolo se definió a partir de la presentación del Programa País<sup>10</sup> (PP) en 1994, gracias al trabajo conjunto de la industria, la academia y el gobierno, encabezado por la ANDI y con el soporte del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Fue aceptado como país perteneciente al art. 5 del PM adquiriendo de esta forma los beneficios y compromisos que esto implica. A su vez, se aprueba un proyecto de fortalecimiento institucional con recursos para la implementación del plan de acción presentado en el PP, haciéndose efectivo por medio de la Unidad Técnica de Ozono (UTO), Unidad adscrita al MAVDT que debido a su buena gestión sigue recibiendo recursos para su operación y fortalecimiento.

Además del PP y de la UTO, para ser parte de los países beneficiarios del fondo, Colombia debe manejar un Plan Nacional de Eliminación (PNE) el cual, igual que el PP debe

---

<sup>10</sup> Documento oficial, presenta un diagnóstico del país referente al uso de SAO (fabricación, consumo, sectores).

actualizarse según cambien las condiciones relacionadas con las necesidades de consumo de las sustancias mencionadas<sup>11</sup>.

#### **3.4.4 Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)**

Luego de una serie de conferencias internacionales donde el tema central era la preocupación por la ya demostrada relación entre los GEI emitidos por el hombre y el cambio climático, nació en 1990 la Asamblea General de las Naciones Unidas y teniendo como base el "principio de precaución" se creó el Comité Intergubernamental de Negociación de la Convención; este comité redactó el texto definitivo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) aprobado en mayo de 1992, entrando en vigor en marzo de 1994 (Pág. Web. UNFCC).

El objetivo de esta Convención es lograr la estabilización de las concentraciones de los GEI en la atmósfera a nivel que evite interferencias peligrosas con el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible (GMCC, 2004; p.15).

#### **3.4.5 Protocolo de Kyoto (PK)**

Es un acuerdo internacional autónomo, vinculado a la convención, que comparte los principios de la CMNUCC, e incluye nuevos compromisos más detallados para cada uno de los países que hacen parte del Protocolo. Este instrumento fija obligaciones cuantificadas de reducciones verificables de GEI para países desarrollados. Los compromisos adquiridos representan una reducción colectiva de por lo menos el 5.2% de las emisiones de 1990 (definido este como el año de referencia), (GMCC; p.17).

Igualmente, los niveles de emisiones de cada país se calcularán como un promedio de los años 2008-2012 establecido como primer periodo de compromiso.

El Protocolo de Kyoto busca estabilizar las emisiones de todos los GEI, con excepción al vapor de agua y los CFC, ya controlados por el Protocolo de Montreal. Adicionalmente y en pro del cumplimiento de las reducciones de emisión de GEI, el Protocolo ha adoptado tres

---

<sup>11</sup> En Colombia, la palabra consumo equivale a la cantidad de SAO importada, ya que en nuestro país no existe su producción.



herramientas que buscan facilitar el logro de sus objetivos y que hacen parte de lo que se conoce como los mecanismos de flexibilidad. El primer mecanismo, permite el intercambio de las cuotas o derechos de emisión de los países anexo I<sup>12</sup> entre sí; el segundo establece la posibilidad de implementar proyectos de reducciones de emisiones, de manera conjunta entre los países anexo I que hacen parte del Protocolo; el tercer mecanismo conocido como "Mecanismo de Desarrollo Limpio", define la posibilidad que países no anexo I, desarrollen proyectos que reduzcan emisiones de gases efecto invernadero, con el objeto de que las reducciones logradas puedan ser usadas como cuota de cumplimiento de los países anexo I.

El PK adquiere el carácter de obligatorio el 16 de febrero de 2005 cuando 55 países lo ratifican representando el 55% de las emisiones de CO<sub>2</sub> de los países desarrollados en 1990 (GMCC; p.18).

#### **3.4.6 Colombia en el Protocolo de Kyoto**

Si bien es cierto Colombia tiene uno de los más bajos índices de emisión de GEI, el cambio climático afecta al país de una forma considerable, por esta razón el país ratificó la convención mediante la Ley 164 de 1994 y se acogió a ella desde el 20 de Junio de 1995.

La primera Comunicación Nacional ante la CMNUCC, preparada por el instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), contiene además del inventario nacional de emisiones de GEI, una evaluación y descripción de la vulnerabilidad de Colombia al cambio climático. En 1990, las emisiones de GEI en el país se estimaron en 129 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente. Este valor representa menos del 0.3% de las emisiones mundiales (GMCC; p.17).

Entre los diferentes mecanismos de reducción de emisiones de GEI adoptados por el Protocolo, es en los mecanismos de desarrollo limpio en los cuales Colombia ha trabajado arduamente al punto de ser considerado como país pionero en América Latina.

#### **3.4.7 Reseña de la normatividad en Colombia**

Ley 30 del 5 de marzo de 1990	Se aprueba el Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono. Congreso de la República
Ley 29 del 28 de Diciembre de 1992	Se aprueba el Protocolo de Montreal, relativo a las SAO. Congreso de la República.

---

<sup>12</sup> Países industrializados Parte del Protocolo: países Europeos, Norteamérica, Japón, Australia y Nueva Zelanda

Ley 164 de 1994	Se aprueba la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Congreso de la República.
Ley 306 del 5 de agosto de 1996	Se aprueba la enmienda de Copenhague. Congreso de la República.
Resolución 528 del 16 de junio de 1997	Prohíbe la producción de refrigeradores, congeladores y combinación de refrigeradores que contengan o requieran para su producción u operación CFC. Y se fijan requisitos para la importación del mismo. MAVDT.
Ley 487 de Diciembre 24 de 1998	Relacionada con la reforma al sistema de impuestos: establece exenciones de impuestos para donaciones que provengan del FM. Congreso de la República.
Ley 618 del 6 de octubre de 2000	Se aprueba la enmienda de Montreal al Protocolo de Montreal. Congreso de la República.
Ley 629 del 2000	Se aprueba el Protocolo de Kyoto. Congreso de la República.
Resolución 304 del 16 de abril de 2001	Se adoptan medidas para la importación de SAO. MAVDT y Min. Comercio Exterior.
Ley 788 de Diciembre de 2002	Se introducen modificaciones al Estatuto Tributario, entre ellas el establecimiento de dos incentivos para proyectos de venta de servicios ambientales de mitigación del cambio climático. Congreso de la República.
Resolución 734 del 22 de junio de 2004	Modifica la resolución 304. MAVDT
Resolución 0453 del 27 de abril de 2004	Se adoptan principios, requisitos y criterios y se establece el procedimiento para la Aprobación Nacional de proyectos de reducción de GEI que optan al MDL. MAVDT.
Resolución 0454 de 2004	Define el proceso de aprobación nacional – Comité Técnico Intersectorial de Cambio Climático. MAVDT

## **4 DESARROLLO DEL PROYECTO**

Con el fin de buscar la mejor alternativa para minimizar o eliminar a largo plazo el consumo de HFC 134a, además de conocer las posibilidades derivadas de desarrollarlo como un proyecto MDL; se presentan a continuación las diferentes definiciones y análisis de los temas relevantes para el proyecto de investigación que dieron lugar a obtener los resultados y conclusiones del mismo.

### **4.1 MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO**

De acuerdo con el Grupo de Mitigación del Cambio Climático adscrito al MAVDT, el MDL es uno de los mecanismos de flexibilidad del Protocolo de Kyoto, cuyo fin es ayudar a los países no industrializados<sup>13</sup> a lograr un desarrollo sostenible, a la vez que ayuda a los países industrializados<sup>14</sup> a dar cumplimiento de sus compromisos cuantificados de reducción de las emisiones de GEI bajo principios de eficiencia económica. La mayor parte de analistas coinciden en afirmar que esta es una de las respuestas más promisorias para resolver los problemas ambientales globales. Este mecanismo permite tanto a los gobiernos, como a las empresas privadas, nuevas alternativas para transferir tecnologías y promover el desarrollo sostenible en sectores como el industrial, energético, forestal, de residuos y de transporte en el ámbito nacional, que generen emisiones de GEI. El MDL es en esencia un mecanismo de mercados de derechos de emisión, donde estos están representados en "Reducciones Certificadas de las Emisiones (CERS -por sus siglas en inglés-)".

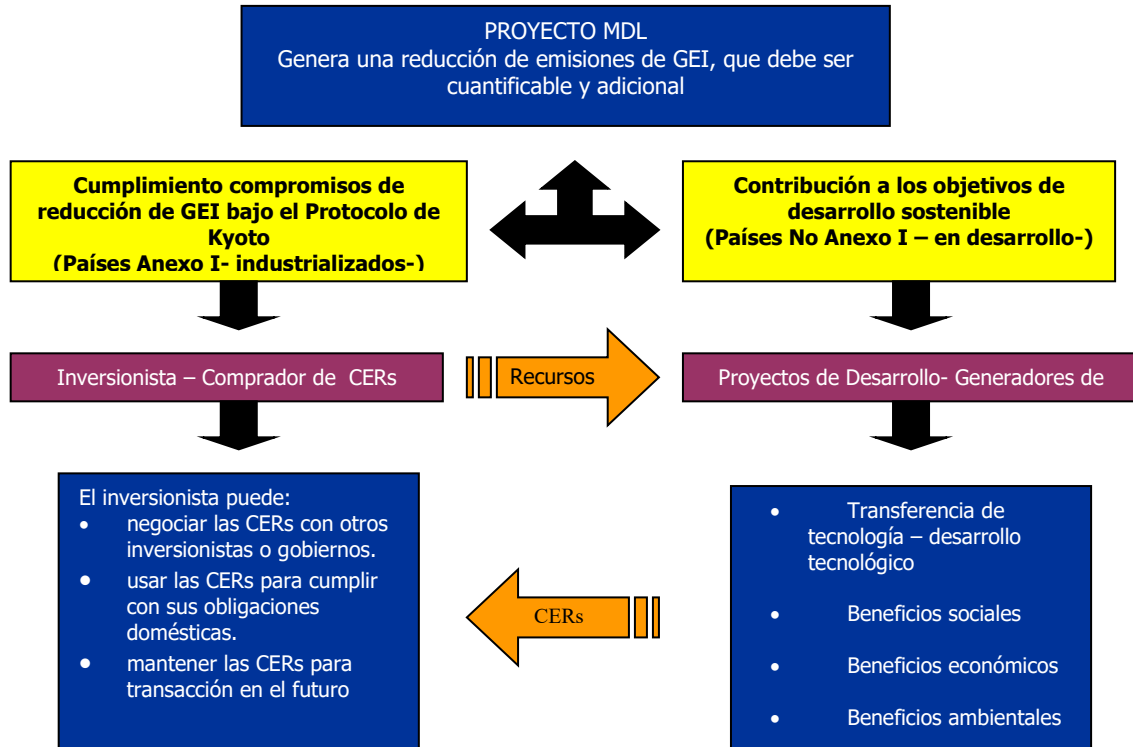
De esta forma este mecanismo cumple con tres objetivos: Por un lado, el país comprador, hará uso de las CERs para alcanzar los objetivos de reducción y limitación de emisiones y, por otro lado, el país vendedor consigue una contribución a su desarrollo sostenible, en aspectos como la transferencia de tecnologías limpias y generación de desarrollo regional, entre otros, contribuyendo así a alcanzar el objetivo último de la Convención de Cambio Climático, el cual es la estabilización de las emisiones de GEI.

---

<sup>13</sup> Países Partes no Anexo I, incluye todas aquellas Partes de la Convención sobre Cambio Climático no listadas en el Anexo I de la convención, entre ellas Colombia.

<sup>14</sup> De acuerdo con el artículo 4.2 de la Convención sobre Cambio Climático, los países industrializados listados en el anexo I debieron reducir sus emisiones de GEI en el 2000, al nivel que tenían en 1990. Bajo el artículo 3 Anexo B del Protocolo de Kyoto, estos países aceptaron compromisos de reducción de emisiones para el periodo 2008-2012 (Pág. Web UNFCC ). Hacen parte del anexo I: los países europeos, Japón, Australia y Nueva Zelanda.

Figura 4.1: Alcances del Mecanismo de Desarrollo Limpio



Fuente: Pág. Web Cordelim

#### 4.1.1 Mecanismo de Desarrollo Limpio en Colombia

El MDL puede plantear beneficios significativos para Colombia en diferentes frentes. Por un lado, mitiga los impactos negativos de la Convención sobre Cambio Climático y del Protocolo de Kyoto en la búsqueda de esquemas de producción novedosos y sistemas de mayor y mejor eficiencia, ya que permite a los países industrializados cumplir con sus obligaciones de reducción de manera flexible y a menor costo. Por otro, propone un esquema novedoso de intercambio internacional de reducciones certificadas de las emisiones con el potencial de atraer inversión extranjera significativa para la realización de proyectos en un país como Colombia (GMCC, 2004, p19).

Mediante la articulación de nuevos proyectos de reducción de emisiones elegibles al MDL, el país puede desarrollar actividades que permitan promover el desarrollo en los sectores industrial, forestal, minero-energético, transporte, residuos y agrícola, que en ausencia de este instrumento no se hubieran realizado, además de promover beneficios sociales y

ambientales adicionales de manera coherente con los objetivos de crecimiento económico del país.

#### **4.1.2 Condiciones de participación en el MDL**

Fundamentalmente existen tres condiciones para los países que formen parte del proyecto del Mecanismo de Desarrollo Limpio:

- La participación en el MDL debe ser voluntaria,
- Debe existir una Autoridad Nacional designada para el MDL y
- El protocolo de Kyoto debe estar ratificado.

En países sin compromisos de reducción de emisiones como Colombia, la Autoridad Nacional designada tiene a su cargo la aprobación de los proyectos en función de la participación voluntaria del país y de la contribución del mismo al desarrollo sostenible, en el caso de Colombia estas funciones están a cargo del Grupo de Mitigación del Cambio Climático, adscrito al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (GMCC, 2004, p.29).

Con la ratificación del Protocolo de Kyoto el 16 de febrero de 2005, el interés de participar en los mecanismos de flexibilidad del PK -por los beneficios mencionados anteriormente- y la asignación de la autoridad Nacional, Colombia cumple con las condiciones para aplicar a proyectos MDL. A partir de esto se elaboró el documento Conpes 3242<sup>15</sup> donde se presenta la estrategia institucional para la implementación de actividades entorno al cambio climático, como la venta de este, como un servicio ambiental (Anexo 4).

#### **4.1.3 Características de un proyecto MDL**

Los proyectos MDL deben cumplir con diferentes características, primero que todo deben contribuir al desarrollo sostenible del país anfitrión y generador de las CERs, logrando así la aprobación de la Autoridad Nacional designada; asimismo debe avanzar por un ciclo definido y aprobado por la Junta Ejecutiva del MDL. Por último y tomando como base el fin del PK, el proyecto debe contribuir a la reducción de Gases Efecto Invernadero, de manera que estas reducciones sean:

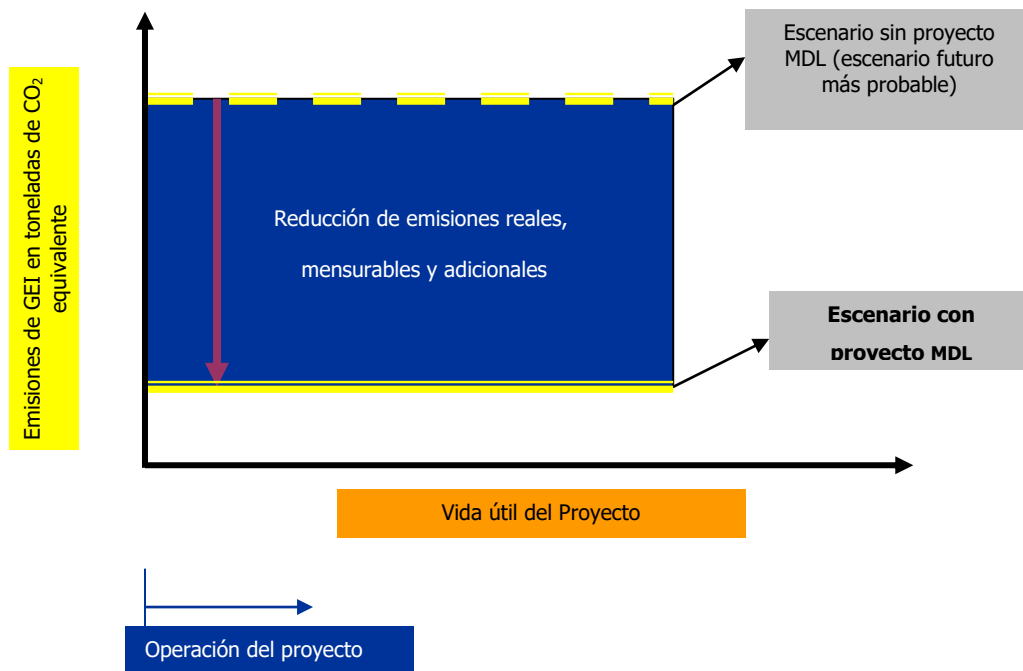
- Reducciones de emisiones de GEI reales y mensurables (cuantificables), es decir, deben generar reducciones o secuestro de emisiones de GEI que sean reales y a largo plazo en un país en desarrollo.

---

<sup>15</sup> Conpes: Consejo Nacional de Política Económica y Social

- Reducciones de emisiones de GEI adicionales: Para cumplir esta característica las emisiones de GEI deben ser reducidas por debajo de las que habrían ocurrido en ausencia del proyecto MDL, es decir, mayores a las que ocurrirían sin la materialización del proyecto, lo que será demostrado al ser calculado en relación con un escenario hipotético más probable y sin proyecto definido como Línea Base.

Figura 4.2: *Esquematación para determinar el volumen de reducción de emisiones (escenario sin proyecto y con proyecto)*



Fuente: Pág. Web Cordelim

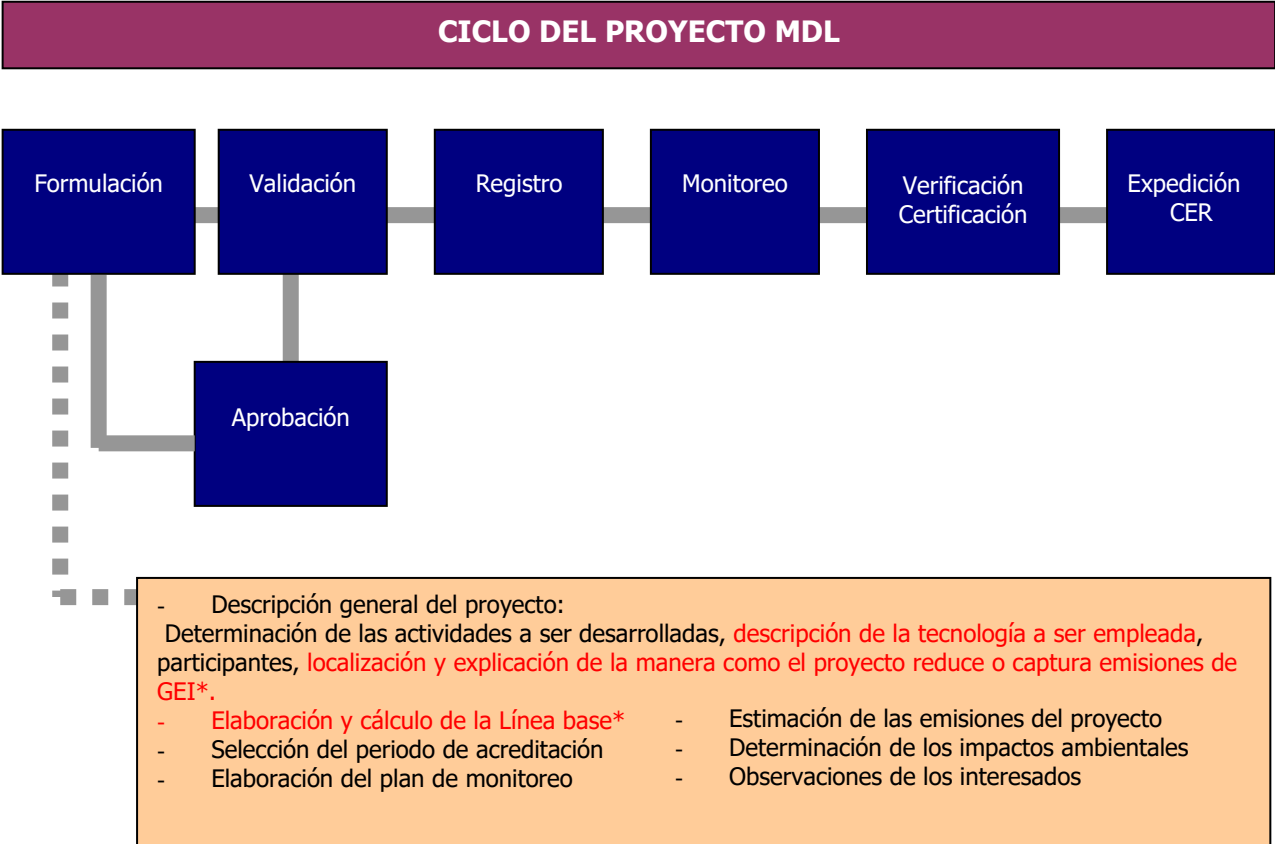
La figura 4.2 esquematiza un caso hipotético de reducción de emisiones gracias a la implementación de un proyecto MDL, en la misma se presenta una comparación del escenario referencial o línea base, sin proyecto vs. el escenario con proyecto. El espacio contenido entre los dos escenarios sería el volumen de reducción de emisiones que estaría sujeto a transacción.

#### 4.1.4 Ciclo del proyecto MDL

Como se mencionó anteriormente, otra de las características de un proyecto MDL es el desarrollo del ciclo definido por la Junta Ejecutiva del MDL. El ciclo es un conjunto de pasos establecidos por la Conferencia de las Partes, con el fin de obtener las CERs, las cuales serán

negociadas con empresas y países que tengan compromisos de reducción de emisiones. En la figura 4.3 se presentan los pasos del ciclo para catalogar un proyecto MDL.

Figura 4.3: *Ciclo de proyecto del Mecanismo de Desarrollo Limpio.*



\*Alcances del proyecto de investigación

Fuente: El autor

**Formulación:** Debe cumplir con los requisitos establecidos por la Conferencia de las Partes, por la Autoridad Nacional designada del Mecanismo de Desarrollo Limpio y por la Junta Ejecutiva del MDL. Antes que todo el promotor o responsable, debe diligenciar el formato oficial del proyecto del MDL o "documento de diseño del proyecto" PDD –por sus siglas en inglés-.

La formulación del proyecto debe contar con (GMCC, 2004, p.24):

- Descripción general del proyecto: Determinación de las actividades a ser desarrolladas, descripción de la tecnología a ser empleada, participantes, localización y explicación de la manera como el proyecto reduce o captura emisiones de GEI.
- Elaboración y cálculo de la línea base: Escenario hipotético más probable si el proyecto no se llevara a cabo. La línea base debe construirse de manera específica para cada proyecto, siguiendo alguna de las metodologías aprobadas por la Junta Ejecutiva.
- Selección del periodo de acreditación: Se debe elegir el periodo de tiempo durante el cual se solicitarán las CERs. Para los proyectos de reducción de emisiones por fuentes, los promotores deben elegir un periodo único de 10 años, o uno de 7 años, renovable en dos periodos iguales.
- Elaboración del plan de monitoreo: El responsable del proyecto debe definir un plan que permita la estimación o medición de las emisiones de GEI atribuibles al proyecto de manera real, así como la recopilación de la información necesaria para calcular la línea base. El plan debe seguir alguna de las metodologías aprobadas por la Junta Ejecutiva del MDL y ejecutarse durante el periodo de acreditación.
- Estimación de las emisiones del proyecto: Debe incluir las emisiones directas debidas a las fuentes de GEI asociadas a las actividades del proyecto, incluyendo una cuantificación de las fugas de emisiones.
- Determinación de los impactos ambientales: El responsable debe incluir una identificación y análisis de los impactos ambientales relacionados con las actividades del proyecto.
- Observaciones de los interesados: Son aquellas personas o grupos que podrían verse afectados por el proyecto.

**Aprobación por la Autoridad Nacional Designada:** Es uno de los requisitos establecidos por la Conferencia de las Partes - COP, la aprobación del proyecto tiene lugar en función de la contribución al desarrollo sostenible que el proyecto hiciere al país. El MAVDT, a través del Grupo de Mitigación del Cambio Climático ha establecido el procedimiento para la aprobación de los proyectos colombianos MDL, para tal fin se aprobó la resolución 0453 de abril de 2004 expedida por el MAVDT, en donde se adoptan los principios, requisitos y criterios y, se establece el procedimiento para la aprobación Nacional de proyectos para la reducción de emisiones de GEI que optan al MDL (Anexo 5). El promotor debe presentar el formato diseñado para tal efecto.



**Validación:** Revisión del proyecto por una entidad independiente "entidad operacional", para establecer su conformidad con los requisitos y procedimientos del MDL y debe ser contratada por el promotor. Es decir, la entidad revisa los pasos anteriores del ciclo.

**Registro:** Aceptación oficial del proyecto por la Junta Ejecutiva del MDL, este es solicitado por la entidad operacional una vez finalizada la validación y remitido el respectivo reporte. El reporte de validación debe contener el documento del proyecto, la explicación del trámite dado a los comentarios de los interesados durante el periodo de consulta al que tuvo que someterse el proyecto, además debe contener las cartas de las Autoridades Nacionales de cada país participante, manifestando la participación voluntaria en el proyecto y confirmando la contribución al desarrollo sostenible del país en donde se desarrollarán las actividades del proyecto.

**Monitoreo:** Puesta en marcha del plan de monitoreo propuesto en el documento del proyecto. La ejecución del plan debe registrar y documentar la información mencionada en la formulación y aplicar las medidas relevantes para asegurar la calidad del procedimiento.

**Verificación y certificación:** Revisión de los cálculos y procedimientos realizados por el responsable del proyecto durante el monitoreo para cuantificar las reducciones de GEI. Es realizada por una entidad operacional diferente a la que realizó la validación del proyecto, esta comprueba que el procedimiento seguido por el responsable se ajuste a lo establecido por el plan de monitoreo.

Con base en los resultados de la verificación, la entidad operacional elabora un informe de verificación para la Junta Ejecutiva del MDL, las Partes interesadas y para los participantes del proyecto. Finalmente se expide una certificación de la reducción de los GEI resultantes de la ejecución del proyecto.

**Expedición del las CERs** La expedición se hará efectiva por la Junta Ejecutiva del MDL, si no existe objeción alguna de las Partes participantes en el proyecto o de al menos tres miembros de la Junta.

En este orden de ideas, el proyecto de investigación se enfatizó en el desarrollo de los primeros elementos de la formulación, es decir, la descripción de la tecnología a usar, localización, elaboración y cálculo de la línea base y la explicación de la manera como el proyecto reduce o captura emisiones de GEI.

## **4.2 MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO Y EL SECTOR DE REFRIGERACIÓN EN COLOMBIA**

Como primer paso para formular un proyecto MDL en el sector de refrigeración, se identificaron los impactos generados por las actividades de refrigeración en el calentamiento global, con el fin de focalizar el proyecto de investigación y de esta forma buscar la tecnología y el sector más adecuado para formular el MDL.

### **4.2.1 Impactos generados por los sistemas de refrigeración en el Cambio Climático**

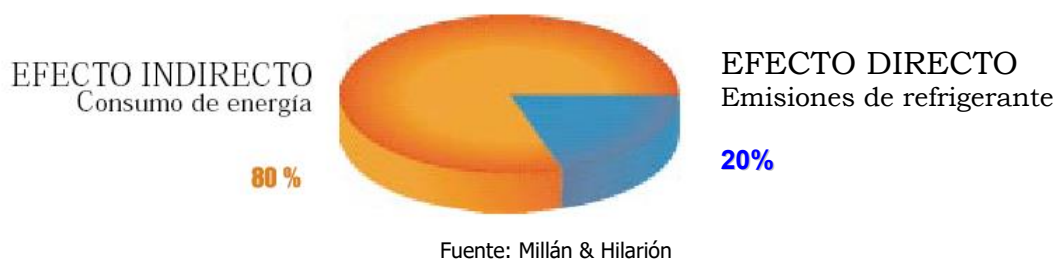
Las actividades del sector de refrigeración afectan de manera notable en el cambio de la temperatura global, principalmente por dos razones:

*Consumo de energía:* Durante el funcionamiento de los equipos de refrigeración existe un consumo de electricidad, la cual es producida generalmente por la combustión de combustible fósil, reacción que genera una liberación de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, es decir, una liberación de uno de los gases efecto invernadero, sin embargo, en Colombia este impacto es menor debido a que la electricidad es producida, en la mayor parte de los casos, a partir de hidroeléctricas y otros medios y en muy pocos casos por combustibles fósiles. Aunque este impacto puede considerarse "indirecto", puede representar más del 80% de su impacto negativo al fenómeno del calentamiento global (Atsuhiko Yabu. Et.al, 2001).

El otro impacto que afecta el cambio climático es la *emisión de refrigerantes*, las instalaciones deficientemente diseñadas o mal mantenidas, o los equipos de refrigeración abandonados al final de su vida sin recuperar o reciclar el líquido refrigerante pueden conllevar a emisiones a la atmósfera, además de las malas prácticas en servicio y mantenimiento de equipos y los procesos de manufactura.

Aunque este impacto representa el 20% del efecto nocivo en el calentamiento global causado por los sistemas de refrigeración, es considerado un "impacto directo" y continuo. Si bien se han desarrollado estrategias para su minimización, en todo proceso existirá siempre un porcentaje de fuga de refrigerante a la atmósfera.

Figura 4.4: *Efectos de un sistema de refrigeración en el cambio climático.*



Aunque en los sistemas de refrigeración el consumo de energía representa mayor porcentaje en los efectos al calentamiento global que las propias emisiones de refrigerante, se debe tener en cuenta el PCG para justificar las medidas de control en el tema de las fugas de refrigerante, ya que el HFC tiene un PCG 1300 unidades mayor al del CO<sub>2</sub>.

Por otra parte, la intensificación del uso de energías limpias, es decir producir energía sin necesidad de la combustión de combustibles fósiles, como por ejemplo la energía solar, eólica, de la biomasa, entre otras; pueden minimizar el impacto "indirecto" que representa el consumo de energía eléctrica en la temperatura del planeta (F. Charry Com. Personal, enero 19 de 2006).

Igualmente en Colombia se han realizado proyectos de MDL dirigidos al sector energético, según el documento Conpes 3242 de 2003 los proyectos más frecuentes son los de conversión de energía hidráulica (26% del total de proyectos MDL realizados por Colombia hasta el 2003), eólica (23%), biomasa (23%); los proyectos de captura de metano en rellenos sanitarios (13%) y en menor proporción, los proyectos de eficiencia energética, sustitución de combustibles, geotermia y cogeneración (Conpes 3242, 2005, p.4).

#### **4.2.2 Impactos directos en el Cambio Climático generados por el sector de refrigeración<sup>16</sup>**

En el punto anterior, se tomó la decisión de encaminar el proyecto a mitigar las fugas de R-134a a la atmósfera, el paso siguiente fue elegir en cual sector y/o subsector existe la probabilidad de fugas y que además permita la gestión de la formulación de un proyecto MDL.

<sup>16</sup> J. Sánchez & F. Charry (Com. Personal, Diciembre de 2005)

Según el IPCC y el GETE (2005b, p.48), existen cinco opciones generales para reducir las emisiones directas de GEI en el sector de refrigeración:

- Mejor confinamiento: Sistemas herméticos a prueba de fugas;
- Recuperación, reciclado y destrucción de los refrigerantes durante el periodo de uso y al término de la vida útil de los equipos;
- Aplicación de sistemas con cargas más reducidas:
  - Menor carga de refrigerantes por unidad de capacidad de frío;
  - Menor demanda de capacidad de refrigeración;
- Uso de refrigerantes alternativos con un PCG reducido o insignificante (por ej. Hidrocarburos, amoníaco, dióxido de carbono, etc);
- Tecnologías que no dependan del uso de fluorocarbonos.

Cada opción trae consigo beneficios para el sector de refrigeración y en general para la sociedad, como uno de los objetivos del MDL, generando beneficios tanto ambientales, como para el sector de refrigeración, ya que los productos amigables con el ambiente son cada vez más preferidos por el mercado nacional e internacional dando la posibilidad de abrir nuevos mercados competentes a escala mundial.

Analizando las diferentes alternativas para mitigar las fugas de refrigerante, se eligió el uso de sustancias con PCG insignificante libres de fluorocarbonos. Por un lado, las experiencias en este campo a escala nacional e internacional han arrojado resultados positivos, la producción de HC a nivel nacional evitaría la vulnerabilidad y dependencia a la que se somete el país por la importación de estas sustancias, generaría empleo en las plantas de producción y contribuiría al desarrollo sostenible del país como uno de los principales objetivos del MDL.

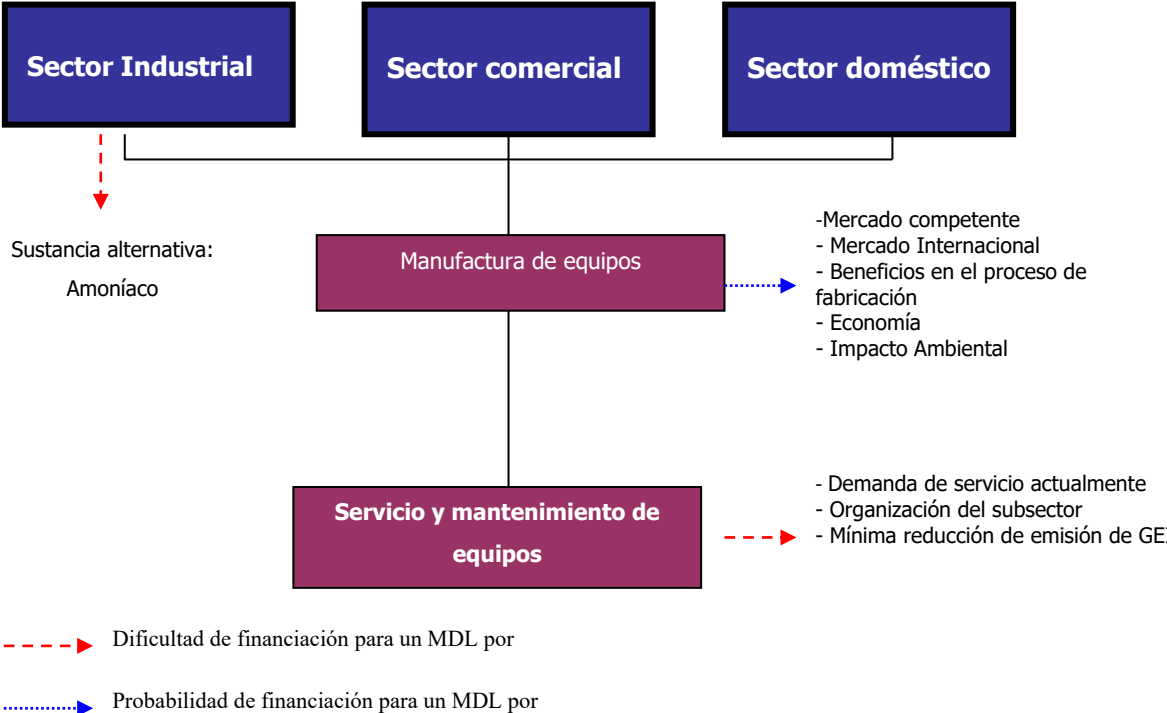
En cuanto a las otras opciones, se conoce que la mayoría de los equipos producidos en Colombia en el sector de refrigeración están herméticamente cerrados, el proyecto de certificación de técnicos en el servicio y mantenimiento de equipos de refrigeración adelantado por la UTO en conjunto con el SENA a nivel nacional, fortalece las buenas prácticas de los técnicos de los talleres dedicados al mantenimiento de equipos y fomenta los procesos de recuperación y reciclado de refrigerantes; la UTO adelanta proyectos de destrucción de equipos al término de su vida útil (por ej, el proyecto realizado por la Universidad Nacional, Universidad de los Andes y la UTO en cuanto a chatarrización de neveras de uso doméstico en Colombia, 2003)

En este contexto, el siguiente análisis tuvo como fin elegir el sector más apropiado para implementar sustancias libres de fluorocarburos.

Anteriormente se mencionó la división del sector de refrigeración en Colombia, donde encontramos refrigeración doméstica, comercial e industrial y sus diferentes características, se puede decir que esta división se hace de acuerdo con la clase de producto que se ofrece, en donde cada sector se puede dividir a la vez en subsectores según la actividad, es decir la fabricación y el subsector de servicio y mantenimiento de equipos.

En la figura 4.5 se muestra de manera general las características de cada sector de refrigeración del país y los aspectos que toman acción al momento de formular un MDL. Dentro de las características del sector industrial se encontró el uso de refrigerantes alternativos como el amoniaco, donde a pesar de su toxicidad y combustión; su rendimiento térmico, sus propiedades de transferencia de calor y su economía hacen del amoniaco el refrigerante libre de fluorocarburos más utilizado por este sector y sus actividades no representan un impacto para la capa de ozono ni para el problema del calentamiento global.

Figura 4.5. *Análisis del sector de refrigeración en Colombia para formular un MDL*



Fuente: El autor

El sector de refrigeración doméstica además de ser el más representativo en Colombia, dado la cantidad de unidades existentes, usa para su fabricación R-134a; y la implementación de sustancias libres de FC podría representar beneficios para la industria fabricante reduciendo generalmente costos de fabricación, primero por el bajo costo de estos en comparación con el precio de los refrigerantes tradicionales y segundo por su disponibilidad. (Quintero & Orozco, 2004).

La situación para el subsector de servicio y mantenimiento no es tan positiva como la anterior al momento de formular un MDL principalmente por dos razones. Primero, la implementación de sustancias alternativas en este subsector se haría por medio de Drop-in (sustitución del refrigerante existente en el equipo por otro) y/o retrofits en equipos de refrigeración, además se puede considerar que los equipos existentes a base de 134a son recientes y la demanda del servicio de mantenimiento no esta a la orden del día, lo que significaría una mínima reducción en el consumo de 134a. Segundo, en el país existen 650 grandes talleres establecidos y 2500 técnicos no afiliados a estos talleres (UTO, 2004a, p.12) pero que probablemente tendrán uno, situación poco favorable para la investigación en este proyecto pues es difícil realizar un trabajo conjunto con cada taller y la recopilación de la información se hace más dispendiosa, aunque esto no significa que a largo plazo no se deba tener en cuenta el sector de mantenimiento en un proyecto aplicable al Mecanismo de Desarrollo Limpio.

El escenario en el sector de refrigeración comercial es el mismo que en el sector doméstico, donde las empresas dedicadas a la manufactura de estos equipos se encuentran identificadas y su organización al interior de la empresa es favorable al momento de investigar y recopilar información para formular un MDL.

En conclusión, la actividad de manufactura en el sector de refrigeración doméstica y comercial fue el camino que se eligió para reducir la emisión R-134a como GEI y por ende el calentamiento global, mediante el uso de sustancias exentas de fluorocarburos.

#### **4.3 TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS PARA EL SECTOR DE REFRIGERACIÓN.**

El siguiente paso para la formulación de un MDL, luego de elegir el sector más adecuado para esto, fue analizar las diferentes alternativas de refrigerantes sin fluorocarburos desarrolladas mundialmente para posteriormente seleccionar la tecnología a ser empleada

para reducir las emisiones de R-134a en las actividades de manufactura del sector doméstico y comercial. Este análisis se presenta a continuación:

En busca del mínimo impacto a la capa de ozono y al calentamiento global, además de cumplir con las necesidades del sector de refrigeración, se han desarrollado sustancias que por su composición -exentas de cloro y flúor- no contribuyen significativamente a estos dos problemas ambientales, algunas de estas sustancias ya han sido utilizadas y aprobadas en otros países en el sector de refrigeración, como el dióxido de carbono, el agua, los hidrocarburos y el amoníaco, teniendo ya algunas experiencias en Colombia en el uso de estos dos últimos.

La Dirección Federal Alemana del Medio Ambiente hace varios años organizó, según orden jerárquico los refrigerantes deseables y menos deseables de acuerdo con su impacto en el medio ambiente, la siguiente jerarquía sigue siendo aplicable al seleccionar refrigerantes alternativos, en donde los primeros cuatro son los refrigerantes libres de fluorocarburos:

1. Sustancias naturales del medio ambiente: O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, zeolitas, agua;
2. *Hidrocarburos no halogenados*: pentano, propano, butano;
3. Alcohol, éster; isopropanol, cetona, metiletilcetona;
4. Terpeno, amoníaco;
5. Hidrocarburos fluorados: HFC (R-134a);
6. Hidrocarburos parcialmente halogenados: HCFC (R-22, R-123);
7. HFC halogenados: perfluorocarbonados;
8. Hidrocarburos clorados: CFC (R-11, R-12).

Las características de las sustancias libres de FC más utilizadas por la industria de la refrigeración a escala mundial, son (AcciónOzono, 1994, p.6):

Agua: Se puede usar como refrigerante en sistemas de compresión a vapor que operan por encima de temperaturas del punto de congelación (0°C) como enfriadores de agua para acondicionamiento de espacios. El costo de los compresores es alto, pero el rendimiento energético también. Las actuales aplicaciones de compresión a vapor mediante agua incluyen calefacción regional (bombas de calor) y plantas de enfriamiento de túneles mineros. "Antes de aplicar la comercialización a gran escala, será necesario efectuar un desarrollo más amplio del sistema, enfatizando el tamaño y costo"(AcciónOzono, 1994, p.3).

Amoníaco: Su utilización tiene gran potencial para ampliar su uso en refrigeración relativamente pronto, como en refrigeración de alimentos y en aplicaciones industriales a pesar de su toxicidad y combustibilidad. Sin embargo, su uso requiere de una gran inversión para las medidas de seguridad pertinentes.

Dióxido de carbono: Su uso es generalmente en sistemas de compresión de vapor en aire acondicionado fijo y para automóviles. Sus propiedades muestran que puede competir con unidades de CFC y HFC 134a, en costo de refrigerante, peso, dimensiones y rendimiento.

Aunque es necesario hacer hincapié en este último, ya que la presión de operación puede ser un obstáculo para el éxito de su desarrollo y para la aceptación del mercado de esta tecnología, además de necesitarse ingenieros y técnicos de servicio expertos en estos productos.

Hidrocarburos (HC): Los hidrocarburos han sido utilizados con éxito durante mucho tiempo como refrigerantes en aplicaciones industriales, comerciales y domésticas (por ej. isobutano, propano y butano). Aunque se necesita una gran inversión para implementar estas sustancias en los sectores de refrigeración, sus características físicas, químicas y termodinámicas hacen que esta tecnología deba ser considerada. El potencial del mercado de hidrocarburos en Europa y en países en vía de desarrollo es considerable, dependiendo de su aplicación.

Por otra parte, el periodo de permanencia en la atmósfera, al igual que el amoniaco, es de días a meses, siendo probable que los efectos en el cambio de la temperatura por el uso de esta sustancia implique efectos insignificantes en el calentamiento global.

Tabla 4.1. *Los pro y los contra de los refrigerantes sin fluorocarburos*

REFRIGERANTE	PROS	CONTRAS
Agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cero PAO y cero PCG,</li> <li>- Gran disponibilidad.</li> </ul>	Compresor tamaño más grande, mayor costo.
Amoníaco	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cero PAO y cero PCG.</li> <li>- Rendimiento térmico y propiedades de transferencia de calor superiores a los refrigerantes tradicionales.</li> <li>- Económico.</li> </ul>	Inflamable, tóxico en concentraciones bajas.
CO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cero PAO y PCG insignificante,</li> <li>- No combustible, no tóxico, gran</li> </ul>	Alto costo de equipo.



disponibilidad y propiedades conocidas.		
Hidrocarburos (ibobutano, propano, butano)	Cero PAO y PCG insignificante, excelentes propiedades refrigerantes, gran disponibilidad.	Inflamable.

Fuente: AcciónOzono. Alternativas sin fluorocarburos

Según las características de los refrigerantes libres de FC, las tecnologías adecuadas para el sector de refrigeración doméstica y comercial son los hidrocarburos y el amoníaco. Como se mencionó anteriormente, en Colombia son pocas las experiencias en el uso de estas sustancias, sin embargo, las pocas que se han desarrollado han sido positivas y merecen ser tomadas seriamente en consideración.

Ya se consideró el amoníaco para uso industrial durante el análisis de los sectores en Colombia, razón por la cual se excluyó del proyecto de investigación. En Colombia ya se tiene la experiencia del uso de hidrocarburos en el sector de refrigeración doméstica arrojando resultados positivos para ser la tecnología a usar en la manufactura de equipos de refrigeración doméstica y comercial.

Por otro lado, el bajo costo de los HC en comparación con el precio de los refrigerantes tradicionales y la reducción de los porcentajes de carga de hidrocarburos en los sistemas de refrigeración alrededor del 40%<sup>17</sup>, implica una reducción de costos de fabricación para la industria que realice la reconversión. Además, se considera que en los años siguientes el costo de los refrigerantes tradicionales se elevará considerablemente, incrementando posiblemente el tráfico ilícito de estos, que son utilizados en el sector de servicio y mantenimiento, generando la necesidad de plantear proyectos dirigidos hacia los usuarios finales (UTO, 2004c, p.73).

#### **4.3.1 Uso de hidrocarburos en el sector de refrigeración en Colombia.**

La UTO se encuentra evaluando la posibilidad del uso de los HC en dos escenarios preliminares a saber: Uso de HC para fabricación de equipos de refrigeración doméstica y comercial y uso de HC en el sector de mantenimiento y servicio (UTO, 2004c, p.73):

Dentro del primer escenario se vislumbra que aunque el uso de HC para la fabricación de equipos de refrigeración doméstica y/o comercial no son un proyecto elegible para financiación por parte del Fondo Multilateral, debido a que las empresas pertenecientes a este sector fueron reconvertidas previamente, se considera que a través de otras fuentes de financiación externas se puede ir vislumbrando una posibilidad definitiva al reemplazo del uso de HFC-134a como agentes refrigerantes utilizado en las manufacturas de estos equipos.

Como los hidrocarburos son considerados sustancias definitivas, su uso soluciona el agotamiento de la capa de ozono, y su bajo PCG lo convierte en una alternativa que puede obtener financiación bajo el Protocolo de Kyoto, abriendo así una posibilidad de financiación para los proyectos que involucren los HC como agentes refrigerantes. Sin embargo, dentro del esquema manejado por el Protocolo de Kyoto, cualquier proyecto que reporte eliminación de GEI es pagado posterior a una verificación de la eliminación realizada, implicando que sean las empresas quienes inicialmente corran con los gastos de la reconversión.

Como experiencia en el sector de refrigeración en el país, se llevó a cabo el proyecto "Diseño y construcción de un sistema de refrigeración con isobutano como agente refrigerante<sup>18</sup>", obteniendo como conclusión, entre otras, que las variaciones de diseño de los equipos son pequeñas para alcanzar el mismo factor de utilización que los equipos que usan CFC además de comprobar que al interior del equipo el isobutano no alcanza los límites de inflamabilidad y las medidas de seguridad son mínimas (R.B, Llanes. Com. Personal, 20 de diciembre de 2005).

#### **4.3.2 Experiencias en el uso de hidrocarburos como refrigerante a escala mundial**

En la actualidad existen aproximadamente 25 millones de refrigeradores que utilizan hidrocarburos como gas refrigerante, siendo Alemania el país con mayor cantidad y avances en esta tecnología. Otros países que utilizan esta alternativa son Argentina, Australia, Brasil,

---

<sup>17</sup> Esto debido a que la densidad de estas sustancias es menor que la densidad del HFC 134 a, para el caso específico de la refrigeración comercial (vitrinas, mostradores, botelleros, fuentes de agua, etc.) (UTO, 2004c, p.73)

<sup>18</sup> Trabajo llevado a cabo por estudiantes de la Universidad Central y dirigido por el Ingeniero Rubén Dario Llanes

China, Costa Rica, Cuba, España, Francia, Gran Bretaña, India, Indonesia, Japón, República Dominicana, entre otros (Madé, 2002<sup>19</sup>).

Las experiencias logradas por estos países demuestran la competitividad de los hidrocarburos en el sector de refrigeración, reportando ventajas como el ahorro de energía y dinero y algunos nombrados anteriormente como su economía, su sustitución directa o drop-in, su oportunidad de fabricarse localmente además de sus ventajas en el ámbito ambiental. Algunos casos del uso de hidrocarburos en el sector son:

- En marzo de 1994, se convirtió el primer refrigerador indio a una mezcla de propano/isobutano en IIT Delhi, con el apoyo del proyecto ECOFRIG Cooperación Técnica para Refrigeración Ecológica entre India/Suiza/Alemania que desarrolla, investiga y aplica la refrigeración industrial mediante hidrocarburos (AcciónOzono, 1994, p.5).
- Entre el mes de julio del año 2000 y agosto de 2001 concluyó en República Dominicana el desarrollo del proyecto "Reconversión de Refrigeradores Domésticos de R-12 a hidrocarburos" primera fase, ejecutado por la Asociación Dominicana de Técnicos en Refrigeración y Acondicionamiento de Aire, Inc (ADOMTRA). Financiado por el Programa de las Naciones Unidas (PNUD). Uno de los logros obtenidos en este proyecto fue la capacitación de técnicos en refrigeración y acondicionamiento de aire en la reconversión de refrigeradores domésticos a hidrocarburos, la cual dio origen al principal instrumento para implementar estas actividades de capacitación: El manual "Reconversión de refrigeradores basados en R-12 a Hidrocarburos", otro resultado logrado fue el mostrar 11 refrigeradores domésticos además de un dispensador de agua reconvertidos a hidrocarburos. Por último, se tomaron mediciones que demostraron una reducción del consumo energético de un 18% en equipos reconvertidos comparados con los tradicionales (Pág. Web. Geocities).
- En Cuba se han adelantado investigaciones dentro de este campo y entre otras cosas, se desarrolló un refrigerante natural conocido como LB12 (Mezcla de isobutano y propano), el cual según los comentarios del técnico en refrigeración de Cuba Y.R. Castro (Com. Personal, sep. 12/2005) después de ciertos ajustes, el LB12 está funcionando adecuadamente en muchos sistemas de refrigeración doméstica y

---

<sup>19</sup> Madé, José A. Coordinador de la Primera Fase del Proyecto de reconversión de refrigeradores domésticos basados en R-12 a

comercial de este país. Durante los años 2000 y 2003 se realizó el proyecto que se basa en la reconversión tecnológica de refrigeradores domésticos en la Unión Nacional de Utensilios Domésticos de Santa Clara (INPUD) utilizando refrigerantes ecológicos, cumpliendo el objetivo de reducir emisiones de GEI mediante el mejoramiento de eficiencia eléctrica de los refrigeradores domésticos, además de eliminar el uso de R-12 con el empleo de la tecnología de hidrocarburos (isobutano y ciclopentano). Los avances y experiencias del uso del refrigerante ecológico LB12 (Más de 500.000 refrigeradores emplean el gas cubano LB12) han dado pie a construir en Santiago de Cuba una planta destinada a la producción de este gas (OTOZ).

- El 90% de los refrigeradores domésticos y congeladores fabricados en Alemania usan isobutano (R600a).
- Climatizadores portátiles que usan propano de las firmas De Longhi (Italia) y AEG (Alemania) están disponibles. De igual forma climatizadores "split" que usan mezclas de hidrocarburos de la firma IMI están disponibles en Inglaterra además de refrigeradores para bebidas de las firmas Elstar y Norfrost.
- El 95% de los enfriadores de agua producidos por Bonus en Suecia usan propano o una mezcla de propano y etano (OTOZ, 2002, p.224).

#### **4.4 HIDROCARBUROS COMO REFRIGERANTES Y SUS PROPIEDADES.**

La tecnología que se seleccionó en el sector de refrigeración doméstica y comercial del país para formular un MDL fue la implementación de hidrocarburos en los procesos de manufactura. Fue conveniente analizar sus propiedades y características a tener en cuenta durante y para su implementación, con el fin de posteriormente saber que actividades se deben desarrollar para realizar el proyecto MDL.

Los hidrocarburos son sustancias naturales obtenidas por destilación en las refinerías. Los más importantes como refrigerantes son el metano, etano, butano, propano (R-290), etileno e isobutano (R-600a).

Los hidrocarburos directos pueden usarse como refrigerantes en sistemas de refrigeración y en el Manual de buenas prácticas en refrigeración publicado por la Unidad de Ozono de

---

hidrocarburos y autor del Manual de instrucciones del mismo. Santo Domingo, República Dominicana. 31 de mayo de 2002.

Colombia en el año 2004, se consideran como buenos refrigerantes por las siguientes razones:

- Se desempeñan muy bien, con buena capacidad y eficiencia.
- Los HC están disponibles para una amplia gama de aplicaciones.
- Tienen un impacto ambiental muy bajo en comparación con los CFC, HCFC y los HFC.
- Son compatibles con el cobre y los aceites minerales comunes.

Para su uso adecuado se debe tener en cuenta:

- Los sistemas que usan HC deben diseñarse de manera tal que la fuga no sea peligrosa teniendo en cuenta precauciones por su inflamabilidad.
- Debe usarse el equipo apropiado durante la fabricación para cargar los sistemas y la carga aérea debe elegirse con cuidado.
- Los técnicos del servicio de mantenimiento y reparación deben estar capacitados para manejar hidrocarburos como refrigerantes con seguridad.

#### **4.1.1 Propiedades de los Hidrocarburos como refrigerantes**

Según los manuales de buenas prácticas en refrigeración desarrollado para Colombia (UTO, 2004) y para Cuba (OTOZ, 2002) las propiedades de los hidrocarburos como agentes refrigerantes son las siguientes:

- *Inflamabilidad*

Para la combustión se necesita una fuente de ignición de alta temperatura que encienda la mezcla aire/HC. Aun así, es importante evitar las condiciones necesarias para la combustión al usar HC. Las fuentes de ignición potenciales son:

- Una llama de una antorcha encendida, de una lámpara de haluro, de un fósforo o de un encendedor.
- Una chispa de un componente eléctrico.
- Electricidad estática

Dentro de un sistema de refrigeración es difícil que se de una combustión, ya que en este hay poco aire. El riesgo se presenta al darse fugas de HC del sistema y si se llega a presenta la mezcla en las proporciones adecuadas con la presencia de una fuente de ignición, el gas al presentar mayor densidad que el aire se acumula a nivel del suelo.

- *Pureza*

El refrigerante debe presentar niveles extremadamente bajos de contaminación, fundamentalmente humedad, y estar desodorizado. Ya que el uso de HC impuros puede causar problemas en un sistema de refrigeración; por ejemplo, al saturar el filtro secador, al acelerar la producción de ácidos en el sistema, dando lugar al daño metálico que puede afectar el aislamiento de la serpentina del compresor.

Tabla 4.2: *Especificaciones de calidad de los hidrocarburos para su uso como refrigerantes*

PARÁMETRO	VALOR
Grado de pureza	Superior al 99.5%
Contenido de agua	Máximo 10 ppm
Contenido de otros HC	Máximo 5000 ppm
Impurezas cloradas y fluoradas	No debe contener (0 ppm)

Fuente: Manual de buenas practicas, Oficina Ozono Argentina<sup>20</sup>

#### 4.4.1 Hidrocarburos disponibles como refrigerantes

Actualmente en el mercado internacional están disponibles tres refrigerantes con base en HC los cuales pueden ser usados en reemplazo del CFC-12 y HFC en sistemas nuevos. Estos aparecen listados en la tabla 4.3.

Tabla 4.3: *Hidrocarburos utilizados como refrigerantes disponibles en el mercado.*

REFRIGERANTE	PUNTO DE EBULLICIÓN	APLICACIONES
Isobutano (R-600a)	-12°C	Nuevo equipo doméstico
Mezcla 50/50 de Isobutano-Propano	-31.5°C	Reemplazo del CFC-12 en equipos existentes y nuevos
Propano (R-290)	-42°C	Equipos nuevos de alta, media y baja temperatura

Fuente: Manual de buenas prácticas, Oficina Ozono Argentina<sup>21</sup>

<sup>20</sup> Citado en: (UTO, 2005)

<sup>21</sup> Citado en: (UTO, 2005)

Cada uno de estos refrigerantes tiene diferentes características de operación y son factibles para aplicaciones particulares según el manual de buenas practicas de refrigeración de Cuba, algunas de las principales características se resumen en la tabla 4.4.

Tabla 4.4: *Características de los hidrocarburos refrigerantes comparados con refrigerantes tradicionales y sustitutos*

ISOBUTANO (R-600a)	PROPANO (R-290)	MEZCLA DE HC (R-290/R-600a)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La capacidad volumétrica es más baja y el compresor necesitará aprox. el doble del desplazamiento.</li> <li>• Compresores con el desplazamiento necesitado para el sector comercial no están disponibles.</li> <li>• Coeficiente de funcionamiento mayor</li> <li>• No es adecuado para aplicaciones a bajas temperaturas.</li> <li>• Los equipos que operan bajo isobutano presentan bajo nivel de ruido.</li> <li>• Disminuye la probabilidad de fugas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La capacidad volumétrica es mayor que la de los refrigerantes tradicionales y sustitutos por eso es necesario compresores de menor desplazamiento.</li> <li>• Si se trata de reconvertir un equipo que funciona con CFC-12, el riesgo de fuga es mayor ya que pueden necesitarse cambios en los componentes del sistema debido a que las presiones de operación son superiores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad similar a la del R-12</li> <li>• Condiciones de operación similares aunque la operación de condensación es más baja.</li> <li>• CDO mayor.</li> <li>• Normalmente en el diseño de compresores solo es necesario hacer pequeñas modificaciones en los componentes eléctricos para mantener la seguridad.</li> <li>• Algunos fabricantes pueden suministrar modelos especiales ya modificados para el uso de estas mezclas de HC refrigerantes.</li> </ul>

Fuente: Manual de buenas prácticas, Oficina Ozono Argentina

#### **4.4.2 Hidrocarburos disponibles como refrigerantes en Colombia**

Como se mencionó anteriormente, los hidrocarburos son sustancias naturales que se obtienen por destilación en las refinerías. Una refinería es un complejo donde el petróleo se somete a diferentes procesos para extraer parte de sus componentes (ECOPETROL, 2003, p.36). En Colombia existen dos grandes refinerías, el Complejo Industrial de Barrancabermeja el cual posee procesos petroquímicos y la Refinería de Cartagena.

El proceso de refinación comienza en las torres de "destilación primaria" en donde el petróleo crudo pasa por diferentes compartimentos llamados "bandejas" o "platos", cada una tiene una temperatura diferente y cumple la función de fraccionar los componentes del petróleo. De esta manera, el petróleo crudo previamente sometido a temperaturas de hasta 400° Celcius para convertirlo en vapor, asciende por entre las bandejas a la vez que va perdiendo calor para luego condensarse y depositarse en cada bandeja. De esta forma, se obtiene en su orden: gasóleos, A.C.P.M., queroseno, turbosina, nafta y gases ricos en butano y propano (ECOPETROL, 2003, p.39).

Aunque el principal producto que sale de la refinación es la gasolina motor, también se pueden procesar gases petroquímicos como los Gases Licuados del Petróleo (GLP) para obtener productos de uso en la industria petroquímica, por ejemplo el gas propano y butano, siempre y cuando los GLP sean ricos en componentes como propanos y butanos.

El gas propano se produce en el Complejo Industrial de Barrancabermeja, se obtiene al separar corrientes líquidas de los GLP y el cual se utiliza como combustible doméstico e industrial<sup>22</sup>. Sin embargo, en la actualidad el crecimiento de la refinería de Cartagena, ha permitido obtener productos de procesos petroquímicos

Aunque nacionalmente si se obtienen hidrocarburos como el propano y el butano en el proceso de refinación, estos gases se encuentran en estado líquido, razón por la cual sería necesario pasar estos gases líquidos por otro proceso para obtenerlos como hidrocarburos gaseosos de alta pureza.

---

<sup>22</sup> Se estima que se producen 20 mil barriles/día. L.Sanabria (Com.personal, abril, 2006. A través de P.Morales)



## **4.5 REDUCCIÓN DE EMISIONES DE R-134a POR LA IMPLEMENTACIÓN DE HIDROCARBUROS COMO REFRIGERANTES**

El siguiente aspecto que se tuvo en cuenta para adelantar la formulación del proyecto MDL, fue la explicación de cómo el proyecto reduce emisiones de GEI, en este caso de HFC 134a. Para esto fue necesario conocer los procesos de fabricación tanto de refrigeración doméstica como comercial, con el fin de identificar posteriormente puntos críticos de fugas del gas refrigerante durante el proceso.

### **4.5.1 Proceso de fabricación de refrigeradores en el sector doméstico**

Según visitas realizadas a empresas fabricantes de refrigeradores domésticos<sup>23</sup>, el proceso de refrigeración consta de las siguientes 10 etapas, representadas en la figura 4.6:

1. Fabricación del gabinete y puertas metálicas: El proceso de fabricación inicia con el corte de láminas de acero, estas vienen enrolladas en cilindros y son de diferente espesor según los requerimientos de fabricación. Luego del proceso de corte, doblado y troquelado se obtiene la forma rectangular del gabinete exterior y las puertas del refrigerador.

Después de un desengrase para eliminar el aceite especial con el que vienen protegidas las láminas para evitar la oxidación, se pasa al proceso de pintura para obtener el color deseado ya sea negro, blanco, almendra, entre otros. Posteriormente se realizan tecnologías<sup>24</sup> y procesos de curado para que la pintura se adhiera completamente a las láminas.

2. Fabricación del tanque interno y contrapuestas plásticas: Por proceso de termoformado<sup>25</sup> se fabrica el tanque interno y las contrapuestas del refrigerador, la materia prima es poliestireno de alto impacto, la diferencia en la fabricación del tanque y las contrapuestas es el molde usado. Hay necesidad de hacer algunos taladros en el tanque para instalar parte del cableado eléctrico.

En la parte posterior del ensamble gabinete-tanque se adhiere una lámina de acero galvanizado o de polietileno, para cerrar esta pieza y poder realizar la inyección de la espuma de poliuretano.

---

<sup>23</sup> Realizadas por Cisneros, Omar (2004) y Millán & Hilarión (2003) La descripción del proceso de fabricación se basó en las 4 visitas realizadas a Indusel, Mabe, Hacey y Challenger, escogiendo un proceso general para estas empresas.

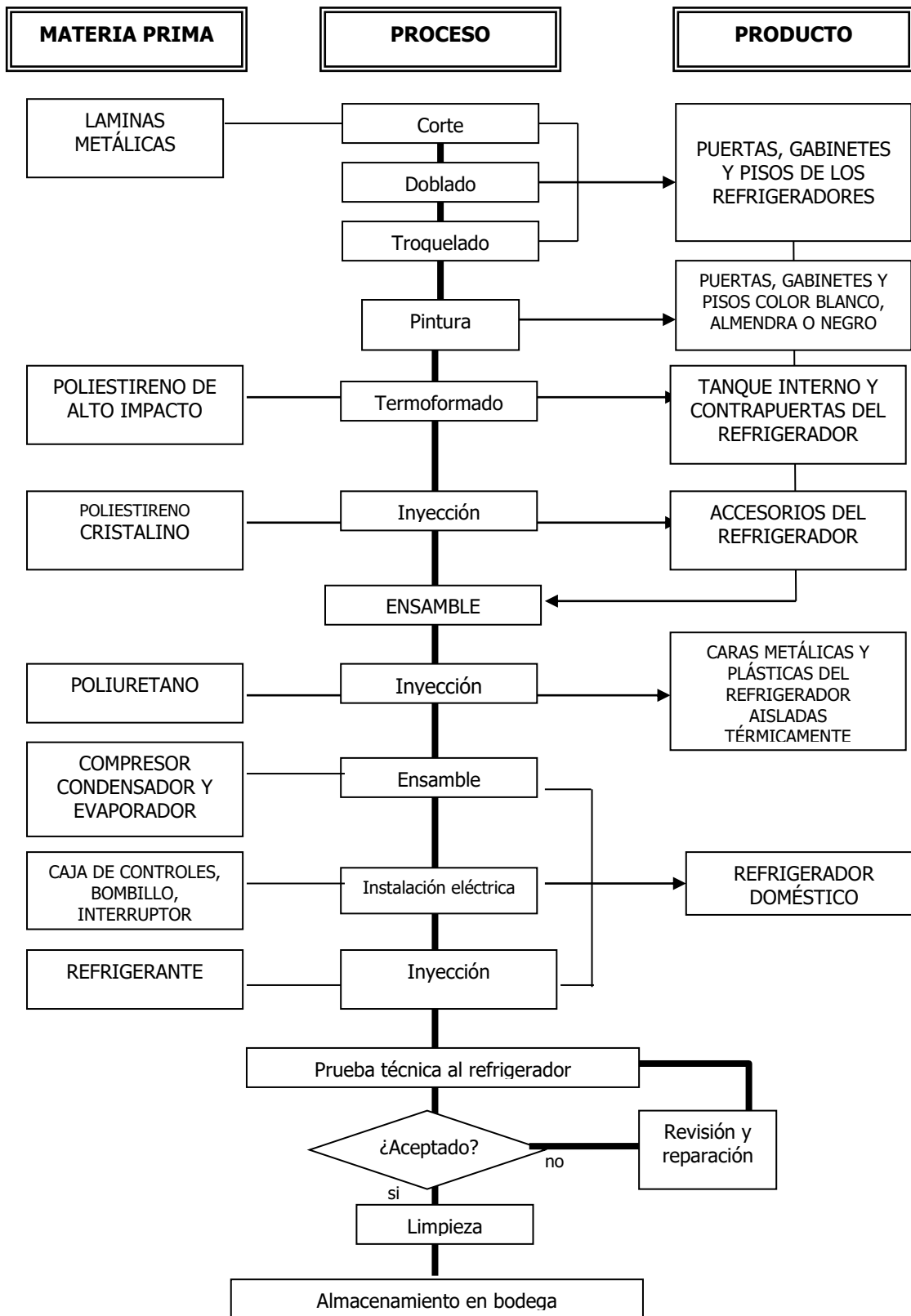
<sup>24</sup> Tecnología Powder Coating: llamada comúnmente como recubrimiento en polvo.

3. Fabricación de accesorios: Las bandejas, manijas, cubetas y canastas son fabricadas con poliestireno cristalino mediante procesos de inyección.
4. Inyección de poliestireno: En el espacio dejado entre el gabinete y el poliestireno, mediante procesos mecánicos se agrega una mezcla de poliuretano, espuma que se ha venido usando como aislante térmico entre el interior y el exterior de la nevera.
5. Inyección de poliuretano: Mediante proceso de inyección se agrega poliuretano entre la contrapuerta plástica y la metálica, a las cuales les fue ensamblado, previamente, el sello magnético de PVC que permitirá que la puerta genere un buen sello.
6. Ensamble evaporador, condensador y compresor: Simultáneamente al punto anterior, se ensamblan los componentes principales del ciclo de refrigeración. El compresor es instalado en la parte inferior de la nevera para luego ser soldado a tuberías de cobre que vienen del evaporador y del condensador.
7. Instalación de componentes eléctricos: Se coloca la caja de controles, el bombillo, el interruptor y en general se hacen las conexiones para el funcionamiento eléctrico del refrigerador.
8. Carga de refrigerante: Mediante proceso de inyección se carga el equipo con refrigerante (R-134a), es necesario antes de la inyección, hacer vacío de manera que cuando el refrigerante entre al compresor este se vaporice por toda la nevera.
9. Prueba técnica del refrigerador: Se realizan pruebas donde se verifica el correcto funcionamiento del refrigerador y sus componentes, también se hacen pruebas de fugas para comprobar que no haya escape de gas refrigerante. Si las pruebas no son adecuadas para cumplir con los requisitos del equipo, se remite con el personal encargado para cada instrumento.
10. Almacenamiento: Luego de aceptado el equipo se realiza una limpieza a las diferentes partes instaladas para su empaque y almacenamiento. Generalmente se dispone en una bodega especial. Una gran parte de éstos, abastece el mercado nacional y la otra se exporta a países como Venezuela, Ecuador, República Dominicana, Costa Rica y Guatemala en menor proporción (Millán & Hilarión, 2003, p.9).

---

<sup>25</sup> El principio del proceso son altas temperaturas y el vacío, la combinación de estos y el molde utilizado generan la parte interna de las neveras.

Figura 4.6: *Proceso de fabricación de refrigeradores en el sector doméstico.*



Fuente: El autor

#### **4.5.2 Proceso de fabricación de refrigeradores en el sector comercial**

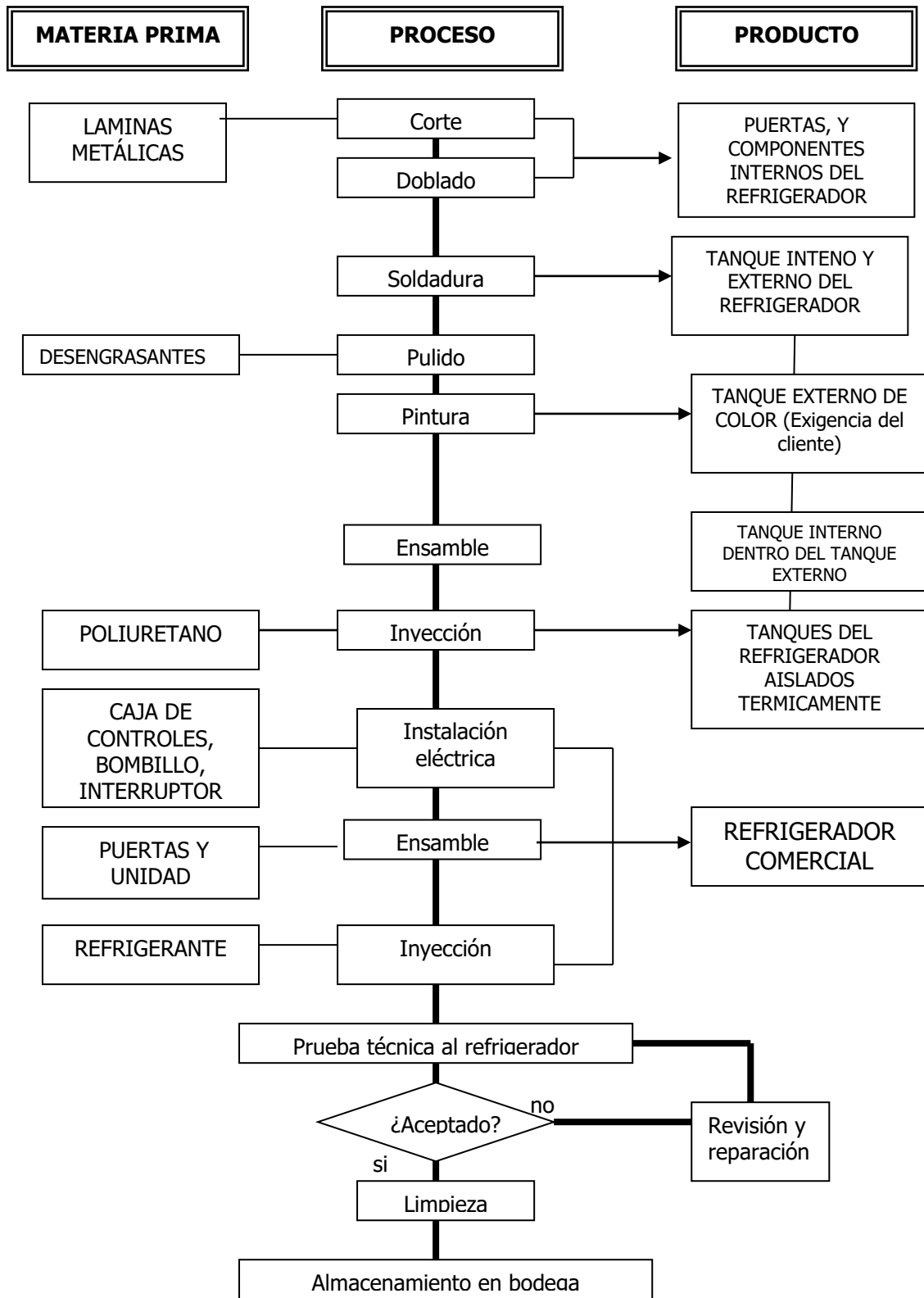
A escala mundial, la refrigeración comercial es el sector de la refrigeración que produce la mayor cantidad de emisiones de refrigerantes, calculadas en términos de CO<sub>2</sub> equivalente, que representan el 40% de las emisiones totales de refrigerantes (de los sectores de la refrigeración y los sistemas fijos y móviles de aire acondicionado) (IPCC/GETE 2005b, p.51) incluyendo las emisiones fugitivas, las emisiones por roturas y las que se producen durante operaciones de mantenimiento o reparación y al término de su vida útil.

El proceso de fabricación de refrigeradores comerciales sigue el mismo esquema del proceso de fabricación de refrigeradores en el sector doméstico, como se muestra en la figura 4.7 (Cisneros, 2004, pp.43, 44)

El proceso comienza con el corte, doblado y troquelado de láminas metálicas generalmente de acero galvanizado, para dar forma a las puertas y a los componentes del refrigerador. Posteriormente, se soldan las partes individuales previamente cortadas para formar el tanque interno y el tanque externo. Por medio de desengrasantes especiales, se retira la grasa e impurezas con el fin de obtener una mejor adhesión de la pintura.

A continuación, se ensambla el tanque interno dentro del tanque externo. Se adiciona la base del refrigerador y accesorios como la tubería interna, el vidrio y las terminaciones de vidrio. Los pasos siguientes son similares a los refrigeradores domésticos, antes de colocar la unidad, se realiza un pre-ensamble donde se coloca el condensador, el aspa refrigerante y las conexiones necesarias.

Figura 4.7: *Proceso de fabricación de refrigeradores en el sector comercial.*



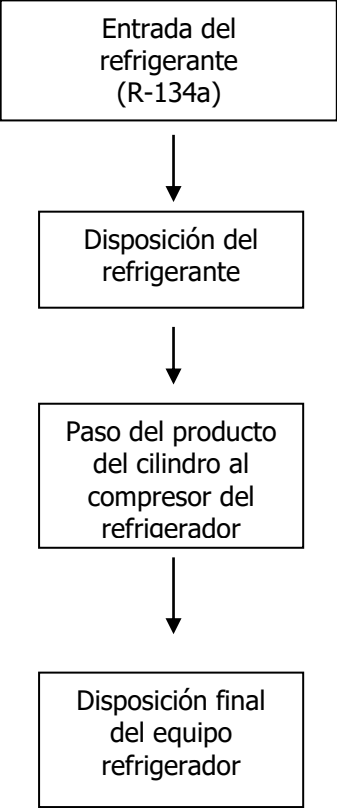
Fuente: El autor

Con el esquema del proceso de fabricación de equipos de refrigeración doméstica y comercial y mediante las encuestas desarrolladas se pidió a los fabricantes que identificaran puntos críticos de fuga de gas refrigerante.

#### 4.5.3 Ciclo de vida del refrigerante R-134a dentro de las empresas

Además de conocer el proceso de fabricación, tanto para el sector doméstico como comercial, se tuvo en cuenta el ciclo de vida de las sustancias refrigerantes dentro de la empresa pues este no está exento de fugas o escapes de refrigerante. Este ciclo inicia desde que entra a la empresa, pasa por los procesos, se dispone como residuo o dentro de un sistema donde finalmente sale o se recircula a través de los procesos (Cisneros, 2004, pp.44, 45).

Tabla 4.5: *Ciclo de vida del HFC 134a dentro de las empresas.*

PROCESO	DESCRIPCIÓN
 <pre> graph TD     A[Entrada del refrigerante (R-134a)] --&gt; B[Disposición del refrigerante]     B --&gt; C[Paso del producto del cilindro al compresor del refrigerador]     C --&gt; D[Disposición final del equipo refrigerador]         </pre>	<p>De acuerdo con el tipo y cantidad de producción de las empresas, el producto puede venir en diferentes presentaciones: en tanques de una tonelada y en pequeños cilindros de 30 libras.</p> <p>Este proceso se realiza de acuerdo con el volumen del tanque. Para el caso del tanque de una tonelada, se dispone de un cuarto especial de donde no se retira ni se mueve sino hasta acabado el producto. Para el caso de los cilindros de 30 libras, este se dispone en un lugar específico de la empresa y se moviliza dentro de esta para realizar la carga.</p> <p>Como se describió anteriormente, el cilindro de una tonelada no se mueve y es en su lugar de disposición donde se realizan las conexiones que transportarán el gas refrigerante del cilindro al compresor del refrigerador. Caso contrario ocurre con los cilindros de 30 libras, donde estos son transportados hasta el refrigerador que necesite ser cargado, en este sitio es donde se realizan las conexiones.</p> <p>En este punto, el refrigerante se encuentra en los compresores instalados a cada refrigerador y depende del tiempo de entrega al consumidor final que se empieza a utilizar el refrigerante dentro de un ciclo termodinámico que se lleva a cabo en cada refrigerador y que es el que precisamente va a utilizar las propiedades de refrigerante de la sustancia.</p>

Fuente: Cisneros. Omar.

De la misma manera en que se identificaron los puntos críticos de posibles fugas durante los procesos de fabricación, se localizaron durante el periodo de permanencia en la empresa.

Por medio de las posibles causas y puntos de emisión de refrigerante 134a se pudo establecer la forma de cómo la implementación de HC en los procesos de fabricación de sistemas de refrigeración doméstico y comercial, puede reducir la emisión de este gas efecto invernadero a la atmósfera, ya que con la aplicación de la tecnología propuesta, las posibles fugas en la fabricación de equipos y durante la permanencia del refrigerante en la planta, el gas emitido será hidrocarburo con aproximadamente 1280 unidades de PCG menor que el R-134a (de acuerdo a la diferencia de PCG del R-134a y el de los hidrocarburos).

Igualmente se dejará de emitir R-134a a la atmósfera proveniente del uso, mantenimiento y disposición final de los equipos de refrigeración. Además, la implementación de hidrocarburos representará una disminución en la cantidad de sustancia en los depósitos, al igual que la demanda generada por el sector de refrigeración doméstica y comercial lo que implica menos producción de esta sustancia.

#### **4.6 LÍNEA BASE DE LAS EMISIONES DIRECTAS: REFRIGERANTE 134a**

Como se mencionó anteriormente, la línea base forma parte de los requisitos establecidos dentro de la fase de formulación del ciclo del proyecto MDL, en donde su elaboración y cálculo están basados en las diferentes metodologías dispuestas por la Junta Ejecutiva del MDL. Aunque se conocen ciertas variables y sistemas a tener en cuenta para representar el caso hipotético más probable si el proyecto no se llevara a cabo, la metodología para elaborar la línea base de las emisiones de GEI en el sector de refrigeración no ha sido aún desarrollada o avalada por la Junta Ejecutiva del MDL.

Por otro lado, la guía de buenas prácticas sobre inventarios de GEI publicada en el año 2000 (IPCC, 2000a. p191), incluye tres métodos para estimar o modelar las emisiones de los sustitutos de SAO. El primero consiste en igualar las emisiones de GEI con los valores representados por el consumo; el segundo es el método de "abajo hacia arriba" que aplica los factores de emisión de cada país para estimar el parque instalado en sus diversas etapas de acuerdo con la vida útil de cada equipo; el tercero, emplea el método de "arriba hacia abajo" usando las aproximaciones de los niveles de emisión del país y los respectivos balances de masa.

El primer método tiende a hacer sobreestimaciones de las emisiones si se trabaja en equipos de refrigeración durante la transición de CFCs a HFCs, ya que en este caso, el consumo se ve reflejado en la carga usada para llenar el equipo nuevo y no en el reemplazo del gas emitido. A su vez, el tercer método es poco recomendado para el caso de los depósitos de sustancias porque subestima las emisiones, pero es bastante efectivo si se emplea en el parque que ya ha sido retirado de funcionamiento. El problema del segundo método, está en los primeros años de vida útil del equipo, los factores de emisión se basan más en datos ingenieriles, que en los otorgados empíricamente por la experiencia, trayendo consigo ciertas incertidumbres, que se pueden corregir a través de los años al tener equipos funcionando. (IPCC Special Report, 2005; p.191)

En este contexto, el IPCC recomienda relacionar y complementar los dos últimos métodos expuestos para la modelación de las emisiones de GEI a la atmósfera. A continuación, se explican las características y variables de ambos métodos según el IPCC, los cuales son aplicados en este proyecto de investigación.

#### **4.6.1 Modelación de las emisiones de GEI en el futuro: Método de “abajo hacia arriba”**

Esta metodología tiene en cuenta los factores que intervienen en la demanda de los equipos de refrigeración doméstica y comercial y sus respectivos usos finales, tanto actuales como potenciales. Esta demanda se debe proyectar a diferentes períodos en el futuro teniendo en cuenta funciones económicas externas, como la tasa de crecimiento compuesto.

Una vez establecido el pronóstico de la demanda general, puede estimarse la cantidad de emisión de HFC, empleando variables obtenidas al revisar datos técnicos de cada equipo dentro de cada aplicación. Lo anterior, sin olvidar que pueden ocurrir cambios en las tecnologías o en los materiales para mejorar los procesos de recuperación y reciclaje o para reducir la carga de refrigerante dentro del equipo.

El método de abajo hacia arriba fue utilizado por el proyecto de investigación mediante la formulación, validación e implementación de encuestas y listas de chequeo (Anexo 1) dirigidas a las empresas dedicadas a la manufactura de equipos de refrigeración doméstica y comercial, las cuales permitieron recolectar información sobre variables determinantes en las emisiones de GEI realizadas por el sector.



#### **4.6.1.1 Variables para el cálculo de la liberación de HFC durante el uso y disposición de equipos de refrigeración.**

Según el IPCC (Special Report, 2005; p.185) las emisiones directas pueden darse en diferentes momentos, los cuales se convierten en variables determinantes a la hora de calcular y determinar el caso hipotético más probable. Estos momentos son:

*Manufactura del fluido:* Durante la producción de muchos HFCs se generan subproductos que además de ser GEI son SAO como por ejemplo el CFC-114a, HCFC-133 y HCFC-124 usados en la manufactura del R-134a, los cuales se supone que no se emiten (Frischknecht, 1999).

*Distribución del fluido:* Después de su manufactura, los fluidos son distribuidos nacional e internacionalmente al mayor y al detal. La cadena de distribución termina en el momento en que la sustancia entra al manejo y control por el cliente, es decir la empresa de manufactura y/o mantenimiento de sistemas de refrigeración. Las pérdidas se dan normalmente durante la transferencia de sustancias, la conexión y desconexión de los cilindros y válvulas y fugas de los contenedores (Banks et al, 1998).

*Manufactura y distribución de los productos:* Es posible que se presenten fugas al momento de las cargas de refrigerante al equipo en el proceso de manufactura o durante el ciclo de vida del refrigerante dentro de la empresa; por otra parte, en el sector se tiende a usar parte del refrigerante para purgar el sistema antes de ponerle la carga refrigerante, lo que implica pérdida de la sustancia. También en ocasiones el refrigerante se usa como elemento traza para detectar fugas en el sistema, por lo que en este caso se pueden presentar pérdidas durante el proceso de recuperación y evacuación previo a la reparación de la fuga (IPCC Special Report; p186).

*Uso:* El IPCC describe el momento de emisiones directas por el uso generalmente relacionadas a fallas en los componentes del sistema o al manejo del refrigerante durante el mantenimiento. A su vez menciona, que la cantidad y frecuencia de las fugas depende de diferentes factores: los externos se relacionan con patrones de uso, frecuencia de reubicación de equipos, clima y ambientes agresivos, cambios bruscos de presión y temperatura, frecuencia y calidad del servicio de mantenimiento preventivo. También influyen el diseño y construcción del equipo y la calidad de sus componentes (Special Report, p.187).

Equipos fuera de servicio: Esta etapa está influida por los procesos de reutilización y reciclaje teniendo en cuenta el grado de contaminación de la sustancia recuperada.

Disposición final: Generalmente después de recuperar la sustancia del equipo que ha sido objeto de reparación, esta debe ser destruida. Mientras esto sucede es posible que existan varias pérdidas de sustancia. Por otra parte, la incineración como disposición final de los equipos tiene una eficiencia entre el 99% y el 99.99%, es decir, del material original se libera a la atmósfera entre 0.1 y 10g por kilogramo, aunque este proceso implica emisiones de otros gases como el CO<sub>2</sub> (Special Report. p.189).

Figura 4.8: Emisiones directas generadas por la manufactura de equipos de refrigeración con R-134a en Colombia



Fuente: El autor, basado en informe Técnico IPCC/GETE

En la figura 4.8 se observan los momentos de posibles emisiones directas de R-134a a la atmósfera que se tuvieron en cuenta para la elaboración y cálculo de la línea base del proyecto de investigación. En este caso, no se tuvo en cuenta el primer momento, pues la localización del proyecto de investigación esta limitado a Colombia en donde no existe producción del refrigerante. A su vez, es importante considerar que las emisiones de GEI son menores para la producción de fluidos alternativos, por ejemplo los HC-290 y HC-600a son generalmente extraídos de mezclas de GLP y su impacto al calentamiento global es mínimo, aun cuando existan fugas de las plantas procesadoras (Gover et al. 1996).

Es decir, la implementación de sustancias alternativas como los hidrocarburos reducen la emisión de GEI, pues su producción genera menor cantidad de estos gases en comparación con los refrigerantes tradicionales, al igual que se reduce la demanda de refrigerante y en consecuencia su producción, teniendo en cuenta que Colombia pertenece al grupo de alto consumo de América Latina<sup>26</sup>.

Asimismo, además de reducir la emisión de GEI en los procesos de fabricación de equipos con hidrocarburos, el ciclo de vida del equipo, es decir, desde su producción hasta su disposición final genera impactos negativos mínimos al calentamiento global si se compara con el R-134a, pues aunque el riesgo de emisión puede ser el mismo, la sustancia emitida a la atmósfera tendría un PCG mínimo y los procesos de destrucción de la sustancia no serían necesarios o al menos tendrían menos importancia.

Otro aspecto que se tuvo en cuenta además de los momentos de fugas durante la fabricación, operación, mantenimiento y disposición final de los equipos de refrigeración doméstica y comercial, fue la aproximación de los depósitos de sustancia que existen en el sector, es decir, la cantidad de refrigerante contenida en los equipos relativamente nuevos, ya que es un factor determinante para la contribución al calentamiento global a largo plazo.

En la tabla 4.6 se muestran los depósitos y emisiones directas de GEI en el sector de refrigeración en el ámbito mundial, según lo indica el informe especial realizado por la IPCC y el GETE.

Tabla 4.6: *Depósitos de refrigerantes y emisiones directas de HFC en el sector de refrigeración a escala mundial.*

HFC	Depósitos (kt)	Emisiones (kt/año)	Emisiones (MtCO <sub>2</sub> eq/año)*
<b>Año 2002</b>			
Refrigeración doméstica	50	0.5	91
Refrigeración comercial	104	23	837
<b>Proyecciones año 2015</b>			
Refrigeración doméstica	189	8	65
Refrigeración comercial	762	299	758

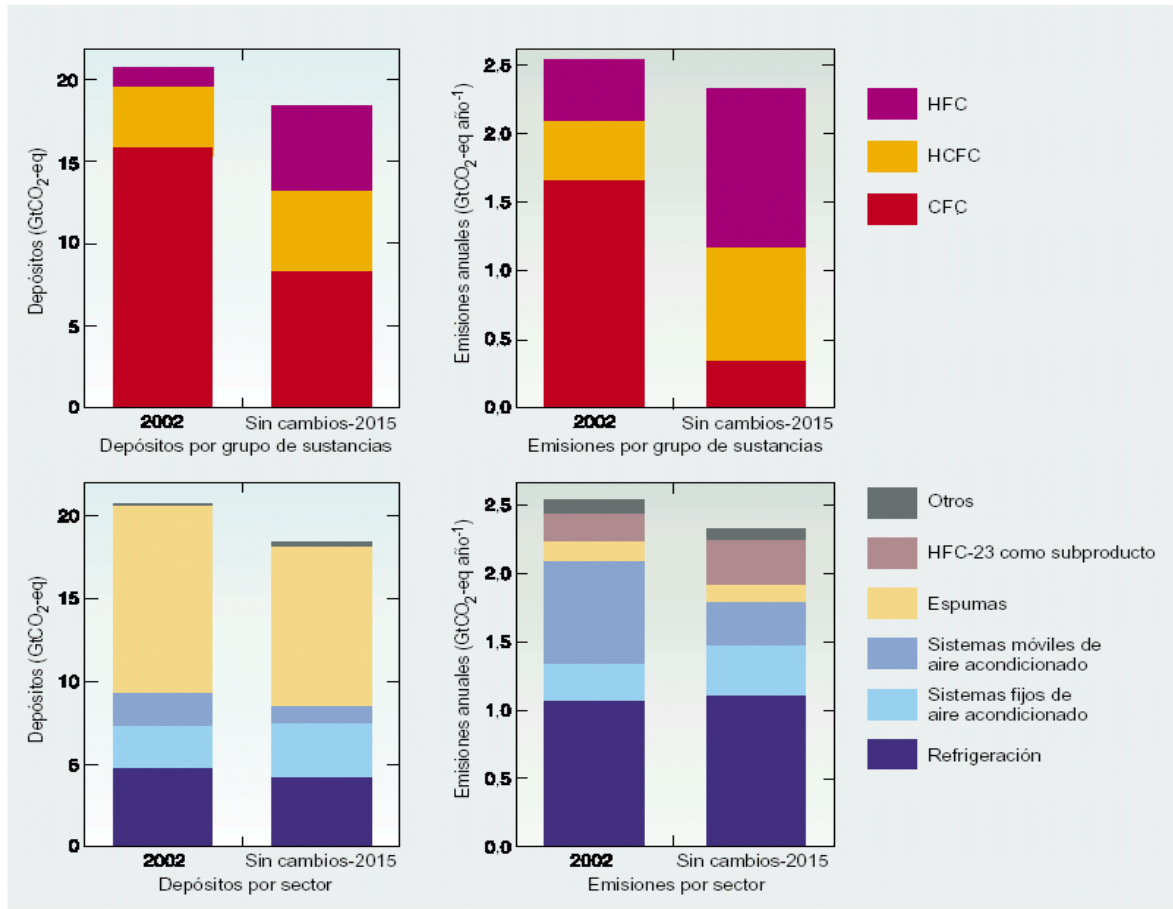
\* Emisiones de GEI calculadas como CO<sub>2</sub> equivalente (ponderadas en función del PCG), usando los valores del PCG directos

Esta tabla incluye todos las sustancias HFC

Fuente: Informe especial IPCC/GETE

<sup>26</sup> Junto a México, Brasil, Argentina, Chile y Venezuela. (UTO, 2004b, p.10)

Figura 4.9: *Datos históricos correspondientes al 2002 y proyecciones para el año 2015 respecto a los depósitos y emisiones de HFC realizados por el sector de refrigeración.*



Fuente: Informe especial IPCC/GETE

Como se observa, la tendencia de la cantidad de depósitos y emisiones de estas sustancias es creciente según las proyecciones realizadas al año 2015, esto incluye la reducción de consumo y emisiones por las medidas de control del Protocolo de Montreal y los incentivos del Protocolo de Kyoto (Figura 4.9). Colombia como país en desarrollo realiza un amplio uso de estas sustancias en especial del HFC 134a.

Teniendo presente los factores y momentos que pueden influir en la emisión de GEI a corto, mediano y largo plazo y por consiguiente en el cálculo de la línea base, el paso a seguir fue la recolección de la información a través de la metodología de "abajo hacia arriba".

#### **4.6.2 Modelación de las emisiones de GEI en el futuro: Método de arriba hacia abajo**

El desarrollo de esta metodología debe realizarse preferiblemente con datos regionales o nacionales teniendo en cuenta, al igual que el método anterior, los factores de demanda y el desarrollo de nuevas tecnologías.

Para estimar las futuras emisiones de GEI en los sectores a analizar en el proyecto de investigación, se formuló un balance de masas tanto para el parque instalado de equipos, como para el refrigerante 134a (Figuras 4.10 y 4.11). Por otra parte, se analizaron los factores económicos que intervienen en la dinámica del sector de refrigeración (figura 4.12). Para la recolección de la información se revisaron los datos del Anuario de industria manufacturera del DANE, datos de importación y exportación del Banco de Datos de Comercio Exterior (BACEX) y datos contenidos en los archivos de la UTO.

Con el fin de entender, en términos generales, el comportamiento del sector de refrigeración doméstica y comercial en el país hay que tener en cuenta los factores que intervienen en su dinámica entendida como un sistema abierto. En el sistema las entradas están representadas por la importación y manufactura de equipos de refrigeración que usan y contienen R134a y las salidas, por la exportación y la disposición final de dichos equipos, las fugas durante la fabricación de equipos y los procesos de recuperación y reciclaje (R&R) en el caso de la dinámica del refrigerante 134a. Dando como resultado el parque instalado de equipos de refrigeración con 134a y la sustancia consumida por este sector.

Las figuras 4.10 y 4.11 representan la dinámica del sector de refrigeración comercial y doméstica en el país tanto de los equipos instalados, como de la cantidad de refrigerante 134a consumido por este sector, los cuales están influidos principalmente por el modelo conceptual del entorno económico y sus tres grandes áreas, la oferta, la demanda y el factor de crecimiento (Figura 4.12).

#### 4.6.2.1 Dinámica del sector de refrigeración en Colombia<sup>27</sup>.

Figura 4.10: *Dinámica del sector de refrigeración doméstica y comercial en Colombia (Balance de masas)*



Figura 4.11: *Dinámica del refrigerante 134a en el sector de refrigeración doméstica y comercial en Colombia (Balance de masas)*

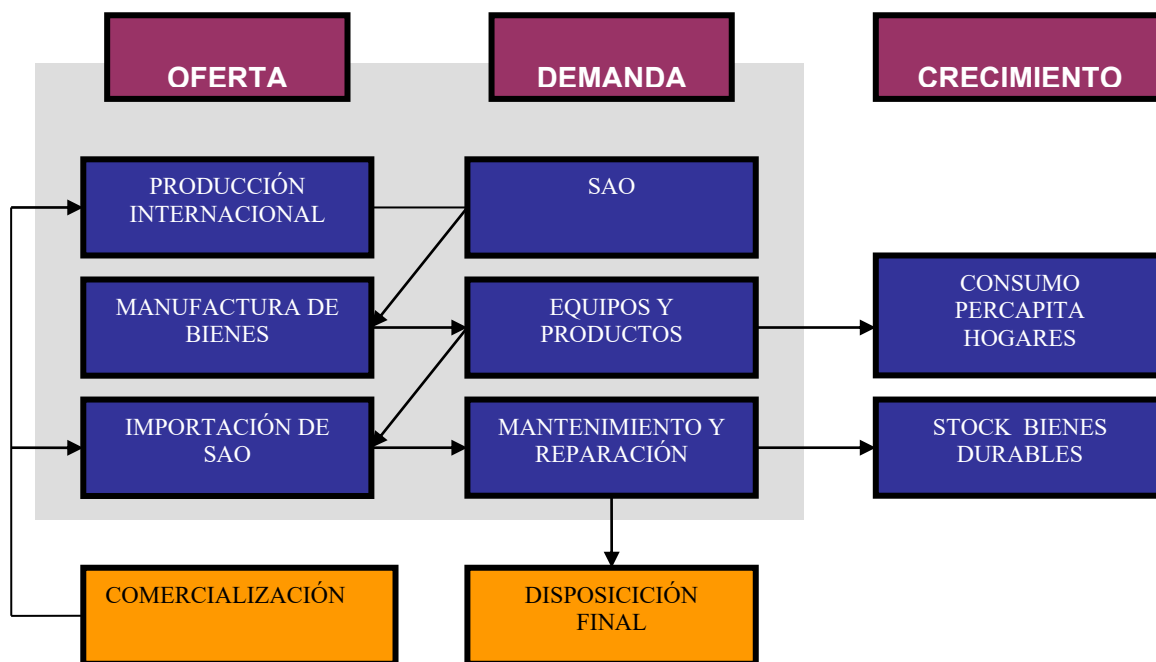


Fuente: El autor

<sup>27</sup> J. Sánchez. (Com.Personal, Diciembre de 2005)



Figura 4.12: *Modelo conceptual del entorno económico en el sector de refrigeración.*



Fuente: Unidad Técnica de Ozono

El consumo de alimentos y la mejora de activos de los hogares que presionan la demanda de equipos de refrigeración doméstica y comercial son los principales factores que hacen funcionar la dinámica del sector de refrigeración. Sin embargo esta situación ha venido cambiando desde la prohibición y restricción en Colombia de la importación de refrigeradores que consumieran SAO, dando como resultado un aumento en el parque instalado de equipos con R-134a. Lo anterior también se vio favorecido desde 1997 por la decisión según la cual los equipos donados o financiados por el PM no pagaban impuestos, aranceles o cargos<sup>28</sup>, por la disposición de la resolución 528 de 1997 (MAVDT) donde se prohíbe la producción de refrigeradores domésticos que contengan o requieran para su producción u operación CFC y por las resoluciones 743 y 874 de 2004 (MAVDT), las cuales establecen un sistema de licencias de importación y exportación de SAO.

Además, la producción de equipos de refrigeración doméstica y comercial que operan con R-134a favorece el sistema de exportación, abre más oportunidades bajo el concepto de “mercados verdes” -con la capa de ozono- permitiendo a las empresas adquirir más clientes y mayor competitividad.

<sup>28</sup> Decisión ratificada en el vigésimo segundo comité ejecutivo del Fondo Multilateral el 7 de septiembre de 1997.



Al igual que en el modelo conceptual para determinar los refrigeradores que usan CFC, existe otro aspecto determinante pero incierto en su comportamiento que probablemente afectaría la cantidad de equipos instalados con R134a. Este es el de disposición final de bienes y productos (Figura 4.10), es decir, se desconoce el comportamiento de estos equipos y el refrigerante contenido en ellos luego de cumplido su ciclo de vida. En la medida que exista un mercado rentable de disposición técnica de dichos bienes se afectara uno de los principales factores de crecimiento, el inventario de equipos existentes. Con ello también se afecta el nivel de emisiones de refrigerante a la atmósfera (Pabón & Hillón, 2004).

De acuerdo con lo anterior, el factor de crecimiento presionado por la demanda de equipos de refrigeración doméstica y comercial, conlleva igualmente al crecimiento de la demanda de refrigerante 134a para abastecer el sector tanto para la manufactura, como para el subsector de mantenimiento y servicio de equipos, además de incrementar la cantidad de equipos importados que usan R-134a. De esta forma se conoce la cantidad de sustancia consumida por el sector de refrigeración y se puede establecer el porcentaje de fugas a la atmósfera, ya sea por manufactura o por el servicio de mantenimiento.

Teniendo en cuenta que en este último los procesos de recuperación y reciclaje de refrigerante (R&R) pueden disminuir la demanda de sustancia. Sin embargo, la reconversión de equipos domésticos y comerciales a R-134a no mejora los aspectos de vulnerabilidad y dependencia en el entorno económico, dado que igual que los CFC, el R-134a es importado y no existe producción nacional, lo que hace necesario promocionar las investigaciones en el desarrollo de sustitutos competitivos en el país teniendo ahorros adicionales por el cobro que se hace de las rentas de protección industrial y de patentes de una nueva sustancia química o de esquemas de manufactura industrial innovadoras (UTO, 2004c, p 52).

#### **4.7 LÍNEA BASE DE LAS EMISIONES INDIRECTAS: CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

Una de las propiedades de los hidrocarburos que ha hecho posible su consideración, es la eficiencia energética comparada con los refrigerantes tradicionales. Según experiencias se ha concluido que con variaciones en el diseño del sistema, los equipos con hidrocarburos pueden alcanzar el mismo o mejor coeficiente de operación que los refrigerantes tradicionales y además estos equipos logran llegar a la temperatura mínima de trabajo en un menor tiempo, lo que implica una disminución de consumo energético. R.Llanes (com. personal, 20 de diciembre, 2005).

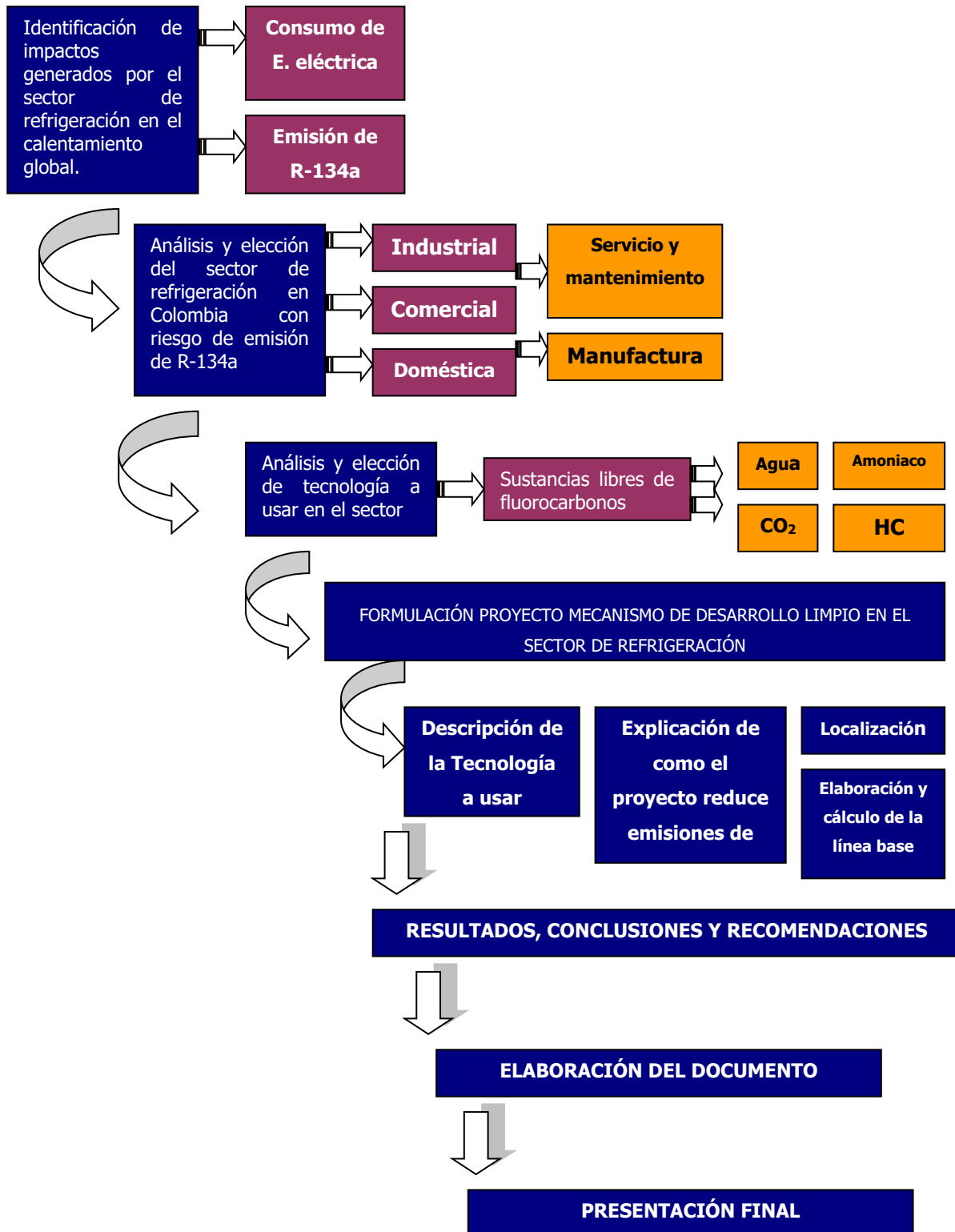
Teniendo en cuenta esto y aunque durante el desarrollo del proyecto de investigación se eligió orientar el trabajo a la minimización de los efectos o emisiones directas generadas por los sistemas de refrigeración, indirectamente se obtienen efectos positivos en cuanto al consumo energético realizado por la operación de equipos con hidrocarburos en comparación con los equipos tradicionales. Debido a lo anterior, se formuló la línea base del consumo energético atribuible al desarrollo del proyecto de investigación.

Para esto, se utilizaron herramientas como la encuesta y la lista de chequeo realizada con la metodología de abajo hacia arriba. Los datos arrojados por su aplicación fueron proyectados a períodos futuros, teniendo en cuenta la cantidad de producción de equipos y el tiempo de vida útil de los mismos, así como el consumo de energía eléctrica promedio de los equipos.

#### **4.8 SISTEMAS PARA APROXIMAR LOS IMPACTOS GENERADOS AL CALENTAMIENTO GLOBAL**

Con el fin de determinar el impacto al calentamiento global generado por los sectores de refrigeración en Colombia, tanto por las emisiones directas, como por las indirectas, se usó la metodología utilizada por el GMCC, en la cual el impacto al cambio climático es representado por el valor del PCG de las emisiones directas e indirectas, de esta forma, los valores utilizados en este proyecto fueron el PCG de refrigerante R-134a y de los hidrocarburos (propano, butano) para las emisiones directas a la atmósfera de refrigerante, y el factor de red establecido para Colombia para calcular el impacto indirecto generado por el consumo de energía eléctrica de los equipos de refrigeración.

Figura 4.13: Esquema: Desarrollo del proyecto de investigación



## 5 CÁLCULOS, ESTIMACIONES Y PROYECCIONES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA LÍNEA BASE DEL EFECTO DIRECTO E INDIRECTO AL CALENTAMIENTO GLOBAL GENERADO POR EL SECTOR DE REFRIGERACIÓN.

### 5.1 Fundamentos teóricos

El estudio de línea base estima dos escenarios de reducción de emisiones de refrigerante válidos, que se encuentran asociados a los alcances definidos por el Protocolo de Kyoto, y aplican a los procesos de manufactura en los sectores de refrigeración doméstica y comercial del país.

El primero, se encuentra relacionado con la sustitución tecnológica que determina un aumento en la eficiencia de los equipos y por ende un ahorro en el consumo de energía por cada unidad que entre en funcionamiento y se conecte a la red local de distribución de energía, es decir, una disminución en el efecto o **impacto indirecto** generado por los sistemas de refrigeración al calentamiento global, es decir, una disminución en el factor de emisión de CO<sub>2</sub> ocasionado por la combustión de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica. Para ambos casos, tanto refrigeración doméstica como comercial aplica la misma ecuación que establece de manera inicial el total de emisiones del sector por este factor y que requiere a futuro descontar las emisiones asociadas a la operación y consumos de los nuevos equipos.

$$\text{Emisiones por consumo (tonCO}_2\text{eq)} = \sum (\text{No. Equipos anuales} \times \text{No. de años}) \times \text{Consumo asociado por equipo} \times \text{Factor de emisión de la red}$$

Según el GMCC el factor de emisión de la red local de distribución de energía dispuesto para Colombia es 0,450 kg/kWh. Por otro lado, de acuerdo con los resultados de la encuesta se determinó un consumo energético promedio para los equipos de refrigeración doméstica de 1.14 kWh/24h y 2.5 kWh/24h para los equipos de refrigeración comercial.

El segundo escenario se encuentra relacionado con la fuga de gas refrigerante, **impacto directo** al calentamiento global representado por la emisión de refrigerante a la atmósfera bajo dos modalidades de fugas. Una, asociada a la posibilidad de fuga de la totalidad del gas una vez que el equipo ha culminado su ciclo de vida (a), y otra que establece la emisión del refrigerante recargado durante el servicio de mantenimiento de los equipos (b). En ambos casos se aplica a los sectores de refrigeración doméstica y refrigeración comercial, pero en cantidades de carga de refrigerante y porcentajes de equipos recargados diferentes.

a) *Potencial de emisiones por disposición final de equipos:* se presenta al finalizar el ciclo de vida de los equipos.

$$\text{Emisiones de refrigerante (tonCO}_2 \text{ eq)} = \sum (\text{No. Equipos anuales} \times \text{No. de años}) \times \text{Carga de refrigerante por equipo} \times \text{PCG del R-134a}$$

Según la UTO y las encuestas implementadas para el desarrollo del proyecto, un equipo de refrigeración doméstica cumple su ciclo de vida a los 15 años de estar en funcionamiento, pero la práctica ha demostrado que en nuestro país una nevera está en uso hasta 25 años aproximadamente. Para el sector comercial se estima una vida útil de 8 a 10 años en teoría y alrededor de 15 años empíricamente.

Igualmente, se desconoce la aplicación nacional de procedimientos para recuperar, reciclar o destruir el refrigerante contenido en el equipo dispuesto, razón por la cual se asume que al finalizar el ciclo de vida de un equipo el gas refrigerante es emitido en su totalidad. Sin embargo, la UTO trabaja constantemente en la promoción de buenas prácticas durante el servicio en el sector de refrigeración con el fin de disminuir las emisiones de gases refrigerantes a la atmósfera; motivo por el cual se supone que antes de disponer los equipos de refrigeración que han culminado su ciclo de vida, se aplican los respectivos procesos de recuperación y reciclaje del agente refrigerante. Dado que en los casos óptimos, un proceso de R & R permite recuperar un 50% de la carga del equipo. En este documento se manejarán entonces, dos nuevos escenarios, uno con prácticas inadecuadas en la disposición final de equipos, donde se emite el 100% de la carga del equipo a disponer y otro, con la aplicación de buenas prácticas, reduciendo esta fuga a la mitad.

b) *Potencial de emisiones por recargas:* se establece al asumir que el gas refrigerante que se fuga del equipo es emitido directamente a la atmósfera.

$$\text{Emisiones de refrigerante por recargas (tonCO}_2 \text{ eq)} = \sum (\text{No. Equipos anuales} \times \text{No. de años}) \times \text{Cantidad de refrigerante recargado por equipo} \times \text{PCG del R-134a}$$

Generalmente las causas de recarga de refrigerante se presentan por mal manejo del equipo, y en pocas ocasiones por fugas provenientes del deterioro o mala conexión. Antes de realizar la recarga, el técnico de refrigeración debe realizar una recuperación del refrigerante que queda en el sistema con una máquina recuperadora. Una vez el equipo se encuentre sin gas, la recarga se lleva a cabo con refrigerante nuevo en la cantidad exacta. De acuerdo con los datos otorgados por la UTO, no todos los equipos de refrigeración necesitan recargas de refrigerante y no todo el refrigerante utilizado

en la recarga es emitido a la atmósfera al darse una fuga. Por ejemplo, para el caso de las neveras domésticas, se estima que solo un 13% anual del parque instalado puede llegar a requerir recarga de refrigerante. Y, a su vez, la práctica ha demostrado que se alcanza a recuperar un 32% del gas contenido inicialmente en los equipos que van a ser recargados, resultando así, que solo un 68% del refrigerante es emitido a la atmósfera.

- c) *Potencial de emisiones por manufactura de equipos:* De acuerdo con las encuestas implementadas en las empresas de manufactura de equipos de refrigeración doméstico y comercial, se estima que durante el proceso de fabricación se fuga un 1% de refrigerante durante el proceso de carga al equipo refrigerador.
- d) *Potencial de emisiones por ciclo de vida del refrigerante dentro de la empresa:* Igualmente, de acuerdo con las encuestas y visitas a las empresas del sector dedicadas a la manufactura, es poco probable que existan fugas durante el ciclo de vida del refrigerante dentro de la empresa, pues este viene almacenado en cilindros con las condiciones de seguridad pertinentes.

El desarrollo de los escenarios mencionados anteriormente, se presenta en el anexo 7.

## 5.2 Caso de estudio

Para la determinación de la línea base, se empleó la información publicada en el Banco de datos de Comercio Exterior (BACEX) del Ministerio de Comercio y del anuario de industria manufacturera del DANE como se menciona en el numeral 4.6.2; posteriormente, se implementó la metodología de “arriba hacia abajo” y se elaboró el balance de masa respectivo.

$$\text{Balance} = \text{No. equipos producidos} + \text{No. equipos importados} - \text{No. equipos exportados}$$

A partir de dicho balance, junto con los datos de proyección poblacional en Colombia del DANE, se realizaron regresiones con el fin de determinar una ecuación (función de crecimiento) que permitiera proyectar la cantidad de neveras en años futuros. El procedimiento para la determinación de la ecuación empleada se encuentra detallado en el anexo 6. La función de crecimiento en el tiempo esta dada por una ecuación lineal definida por:

$$N^{\circ} \text{ equipos} = (0,05202979 \times X) - 1.872.273,87$$

Donde X es una variable correspondiente al año proyectado

La función de crecimiento del número de equipos a lo largo del tiempo solo fue aplicable en el caso de los equipos de refrigeración doméstica, debido a que el comportamiento del sector de refrigeración comercial es irregular y no permite establecer una tendencia de crecimiento con los datos obtenidos durante la fase de recopilación de información.

La función de crecimiento fue empleada con el fin de proyectar el número de equipos hasta el año 2031, para cubrir los diferentes períodos de acreditación establecidos dentro un proyecto MDL, un periodo único de 10 años, o uno de 7 años, renovable en dos periodos iguales (7, 14 y 21 años) respectivamente. Lo anterior se desarrollo en concordancia con la tasa de crecimiento poblacional, pues los datos obtenidos por fuentes del DANE y el Ministerio de Comercio en cuanto a la actividad del sector de refrigeración, no representaban una muestra significativa.

De esta manera, se proyectaron los datos hasta el año 2031 debido a que el proyecto se tomaría desde el 2010 para dar tiempo a que la reconversión industrial a hidrocarburos en los procesos de manufactura fuese efectivo, de tal manera que la reducción de emisiones fuese real dentro del escenario con proyecto, además de cumplir con las fases del ciclo de un proyecto MDL.

## 6 RESULTADOS

Las encuestas y listas de chequeo diseñadas, validadas e implementadas a las empresas dedicadas a la manufactura de equipos de refrigeración doméstica y comercial (Anexo 1), arrojaron la siguiente ficha técnica

FICHA TÉCNICA: ENCUESTA Y LISTA DE CHEQUEO (Anexo 1)		
Encuestas realizadas a :	Empresa	Fecha (2006)
	Inversiones Cold Star S.A	8 de febrero
	Comercial de Refrigeración	14 de febrero
	Challenger S.A	7 de marzo
	NIBEC Ltda.	28 de marzo
	Sysco Ltda.	29 de marzo
	Fermat S.A	4 de abril
	Refrigeración Castell	5 de abril
	Refrigeración Polo Norte	10 de abril
Weston Ltda.	11 de abril	

Equipo prototipo	Refrigeración doméstica	Refrigeración comercial	
	Nevera No-frost	Vitrina horizontal	Vitrina vertical
Carga de R-134a (grs)	158	450-1.300	250-1.300
Potencia del Compresor	153 W	1/5 HP - 1/2 HP	3/8 - 1/2 HP
Consumo de energía eléctrica (kWh/24h)	1,14	2,5	2,5
Vida útil (Años)	15	8 - 10	8 - 10

Con el fin de establecer la línea base del refrigerante 134a, como se mencionó en los capítulos 4 y 5 de este documento, se analizaron diferentes escenarios, de los cuales se presentan los resultados a continuación.

### 6.1 Sector de refrigeración doméstica

Tomando los datos de la tabla de proyección de equipos en el sector de refrigeración doméstica, con sus respectivos factores de emisión de HFC 134a, presentados en el anexo 7, para el caso del impacto directo al calentamiento global, se resumieron los resultados en la tabla 6.1, donde se tomó el escenario en el cual los equipos culminan su ciclo de vida a los 25 años de estar en operación.

Tabla 6.1: *Impacto directo al calentamiento global: emisión de refrigerante 134a generada por el sector de refrigeración doméstica en los diferentes periodos de acreditación, para un ciclo de vida de 25 años (escenario con y sin proyecto)*

Periodo de acreditación	Año	Emisión sin proyecto (TonCO <sub>2</sub> eq)	Emisión con proyecto (TonCO <sub>2</sub> eq)	Reducción de emisión (TonCO <sub>2</sub> eq)
A 7 años renovable 2 veces	2017	486.597,12	673,75	485.923,37
	2024	1.306.231,83	1.808,63	1.304.423,20
	2031	2.356.527,83	3.262,88	2.353.264,94
A 10 años	2020	931.465,58	1.289,72	930.175,86



La tabla anterior, permitió determinar la línea base de la emisión de GEI con y sin la implementación de hidrocarburos en el sector de refrigeración doméstica, para los diferentes periodos de acreditación. Las figuras 6.1 y 6.2 representan la emisión de GEI con y sin proyecto para un periodo de acreditación de 7 años renovable en dos oportunidades.

Figura 6.1: *Línea base del impacto directo: emisión de refrigerante 134a generada por el sector de refrigeración doméstica para periodos de acreditación de 7 años, renovable en dos oportunidades (Ciclo de vida: 25 años).*

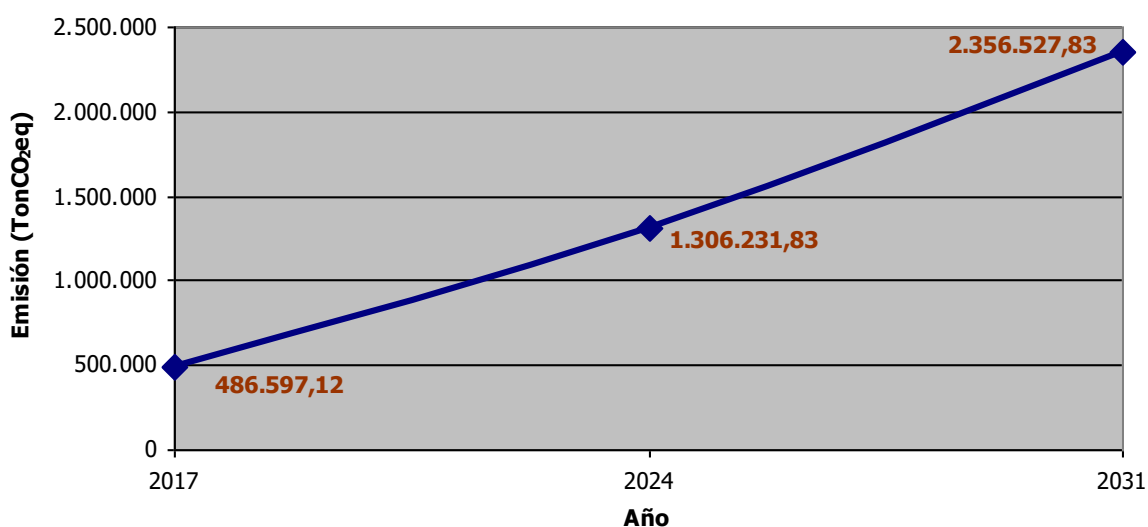
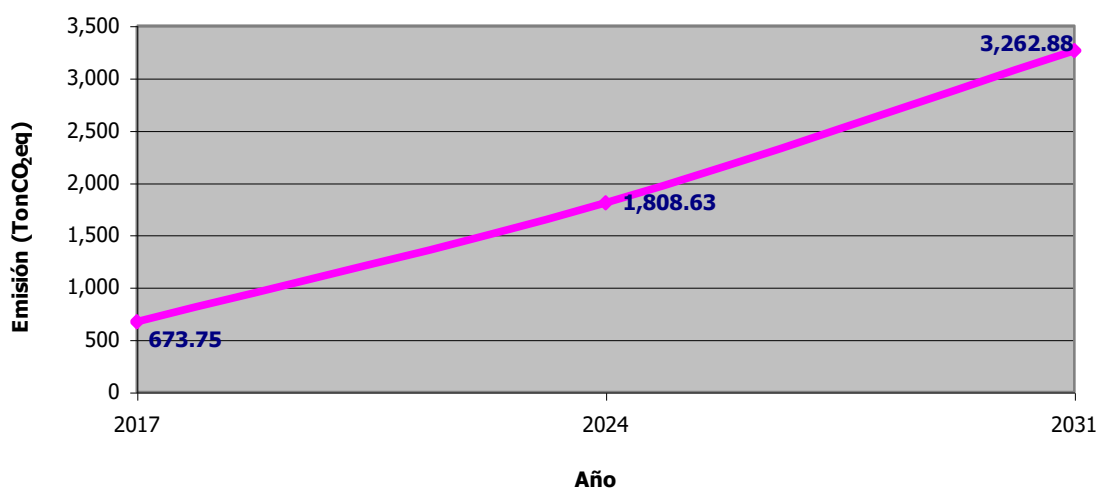
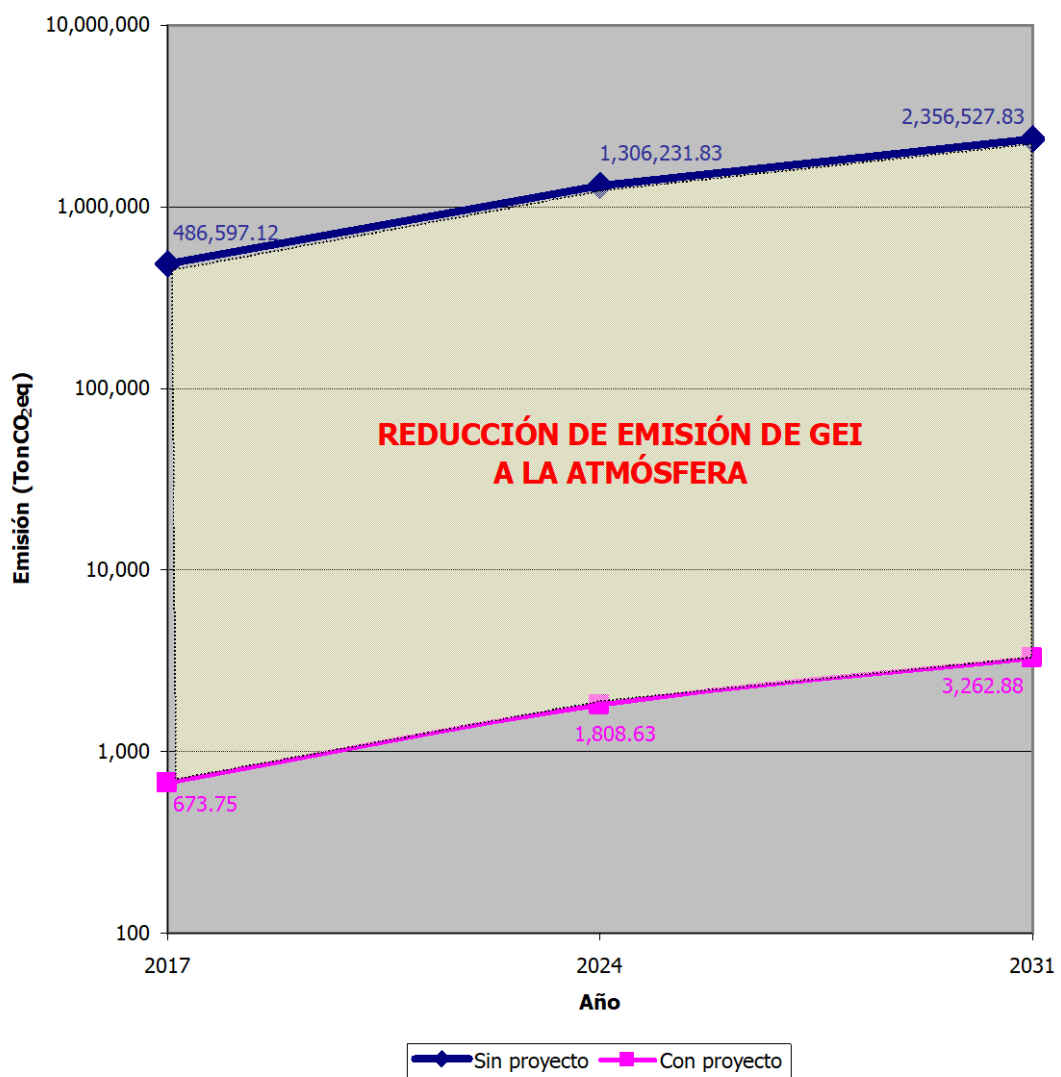


Figura 6.2: *Línea base del impacto directo: Emisión de hidrocarburos generada por el sector de refrigeración doméstica para periodos de acreditación de 7 años renovable en dos oportunidades (ciclo de vida: 25 años)*



De acuerdo con la emisión de GEI generada por el sector de refrigeración, con y sin proyecto, se puede determinar la reducción de emisión de estos gases atribuible a la implementación del proyecto en los mismos periodos de acreditación, como se observa en la figura 6.3

Figura 6.3: Reducción de emisión de GEI atribuible al proyecto MDL en el sector de refrigeración doméstica, para un periodo de acreditación de 7 años renovable en dos oportunidades (ciclo de vida: 25 años).



Como se mencionó en el capítulo 5, el estándar internacional para el ciclo de vida de los equipos de refrigeración doméstica está establecido por 15 años. La tabla 6.2 presenta los valores de emisión de GEI del sector de refrigeración doméstica con y sin la implementación de hidrocarburos como refrigerantes (escenario con y sin proyecto), y la reducción atribuible al proyecto MDL en el sector, teniendo en cuenta, los posibles escenarios futuros referentes a las prácticas de disposición final de equipos.

A partir de lo anterior, se obtiene la representación de la línea base del impacto directo al calentamiento global generado por la emisión de GEI en el sector doméstico, al usar R-134a como refrigerante, en un escenario futuro de buenas prácticas en disposición final de equipos, en el cual se asume que las pérdidas de refrigerante son de aproximadamente el 50% del total de la carga (Figura 6.4) Este escenario se presenta para los periodos de acreditación establecidos.

Igualmente en la figura 6.5 se representa la aproximación de la línea base de la emisión de GEI, al implementar el proyecto, asumiendo de igual manera un escenario con buenas prácticas en el momento de la disposición final de equipo, en el cual, el 50% de la carga del refrigerante (hidrocarburo) es recuperada y el otro 50 es emitido directamente a la atmósfera.

Por otro lado, se representa la reducción atribuible al proyecto MDL para un ciclo de vida de equipos de 15 años en el sector de refrigeración doméstica (figura 6.6)

Tabla 6.2: *Impacto directo al calentamiento global: emisión de refrigerante 134a generada por el sector de refrigeración doméstica en los diferentes periodos de acreditación, para un ciclo de vida de 15 años (escenario con y sin proyecto)*

Periodo de acreditación	Año	Emisión por fabricación, mantenimiento y prácticas inadecuadas en la disposición final del equipo			Emisión por fabricación, mantenimiento y buenas prácticas en la disposición final del equipo		
		Emisión sin proyecto (TonCO <sub>2</sub> eq)	Emisión con proyecto (TonCO <sub>2</sub> eq)	Reducción de emisión (TonCO <sub>2</sub> eq)	Emisión sin proyecto (TonCO <sub>2</sub> eq)	Emisión con proyecto (TonCO <sub>2</sub> eq)	Reducción de emisión (TonCO <sub>2</sub> eq)
A 7 años renovable 2 veces	2017	486.597,12	673,75	485.923,37	486.597,12	673,75	485.923,37
	2024	1.306.231,83	1.808,63	1.304.423,20	1.306.231,83	1.808,63	1.304.423,20
	2031	3.274.742,06	4.373,01	3.270.369,05	2.681.039,93	3.574,95	2.677.464,99
A 10 años	2020	931.465,58	1.289,72	930.175,86	931.465,58	1.289,72	930.175,86

Figura 6.4: Línea base del impacto directo: emisión de refrigerante 134a generada por el sector de refrigeración doméstica en un escenario de buenas prácticas, para periodos de acreditación de 7 años, renovable en dos oportunidades (Ciclo de vida: 15 años).

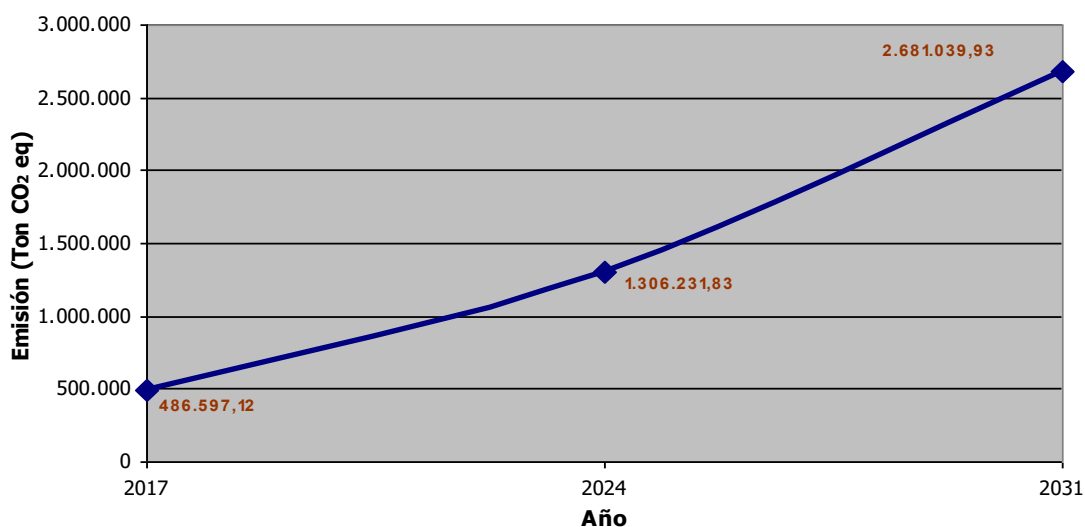


Figura 6.5: Línea base del impacto directo: Emisión de hidrocarburos generada por el sector de refrigeración doméstica en un escenario de buenas prácticas, para periodos de acreditación de 7 años renovable en dos oportunidades (ciclo de vida: 15 años)

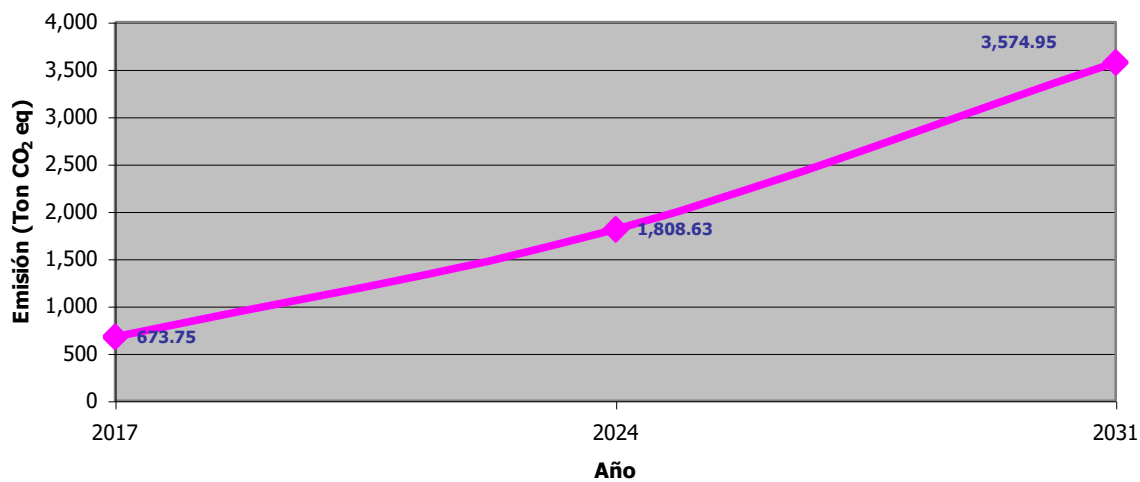
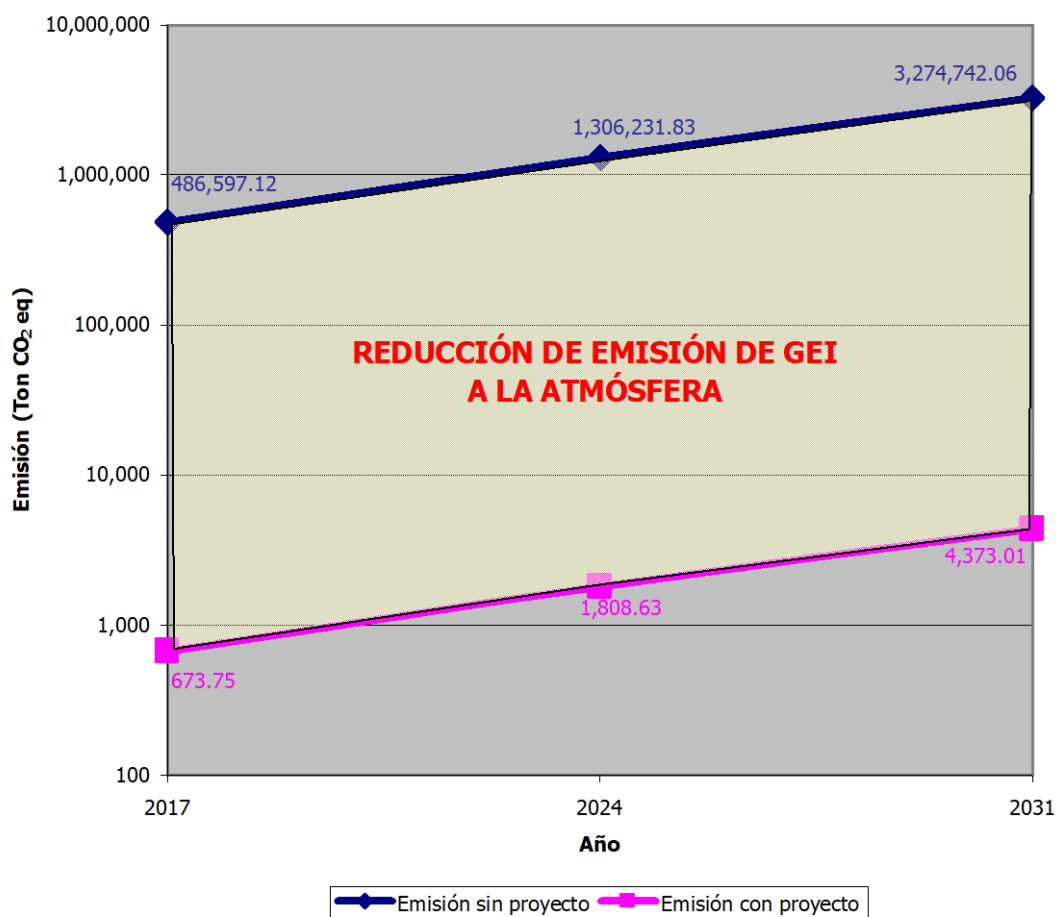


Figura 6.6: Reducción de emisión de GEI atribuible al proyecto MDL en el sector de refrigeración doméstica en un escenario de buenas prácticas, para un periodo de acreditación de 7 años renovable en dos oportunidades (ciclo de vida: 15 años).



A partir de la tabla 6.2 se presenta en las figuras 6.7 y 6.8, la línea base de la emisión de GEI generada por el sector de refrigeración doméstica, con y sin proyecto, teniendo en cuenta un escenario futuro de prácticas inadecuadas en la disposición final de equipos, en el cual se asume pérdida total de la carga de refrigerante del equipo.

La figura 6.9 representa la reducción atribuible a la implementación del proyecto MDL en el sector, de acuerdo con el escenario descrito anteriormente.

Figura 6.7: Línea base del impacto directo: emisión de refrigerante 134a generada por el sector de refrigeración doméstica en un escenario de prácticas inadecuadas, para periodos de acreditación de 7 años, renovable en dos oportunidades (Ciclo de vida: 15 años).

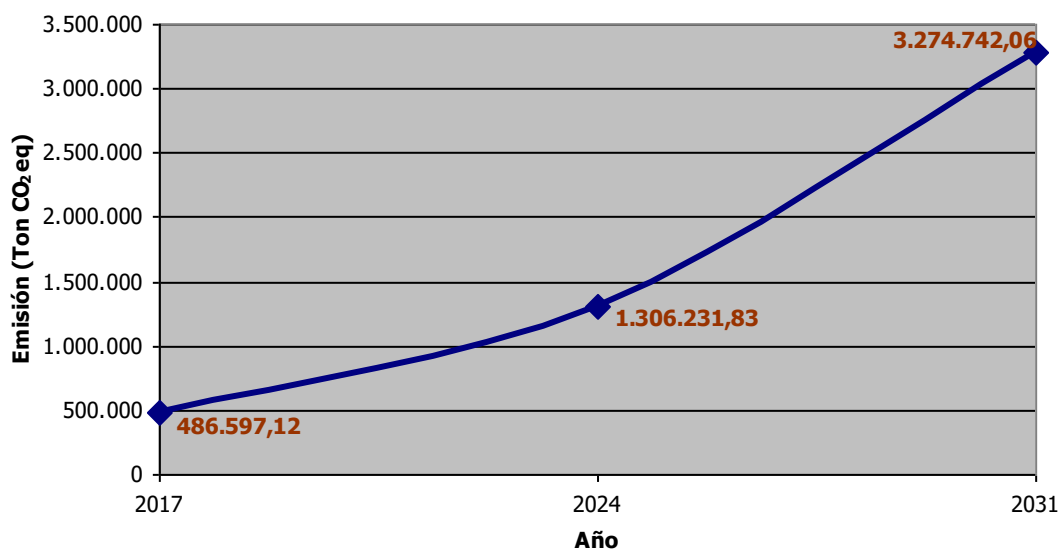


Figura 6.8: Línea base del impacto directo: Emisión de hidrocarburos generada por el sector de refrigeración doméstica en un escenario de prácticas inadecuadas, para periodos de acreditación de 7 años renovable en dos oportunidades (ciclo de vida: 15 años)

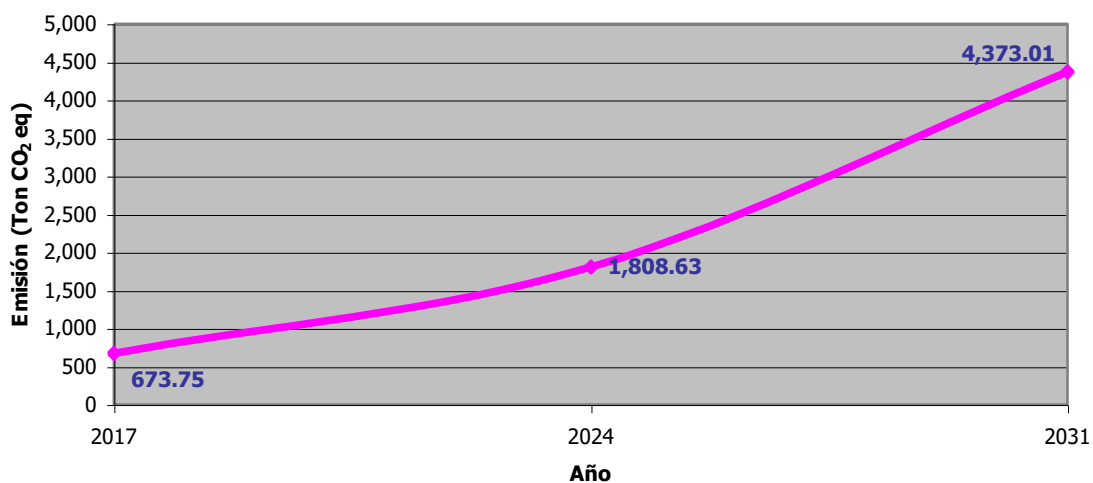
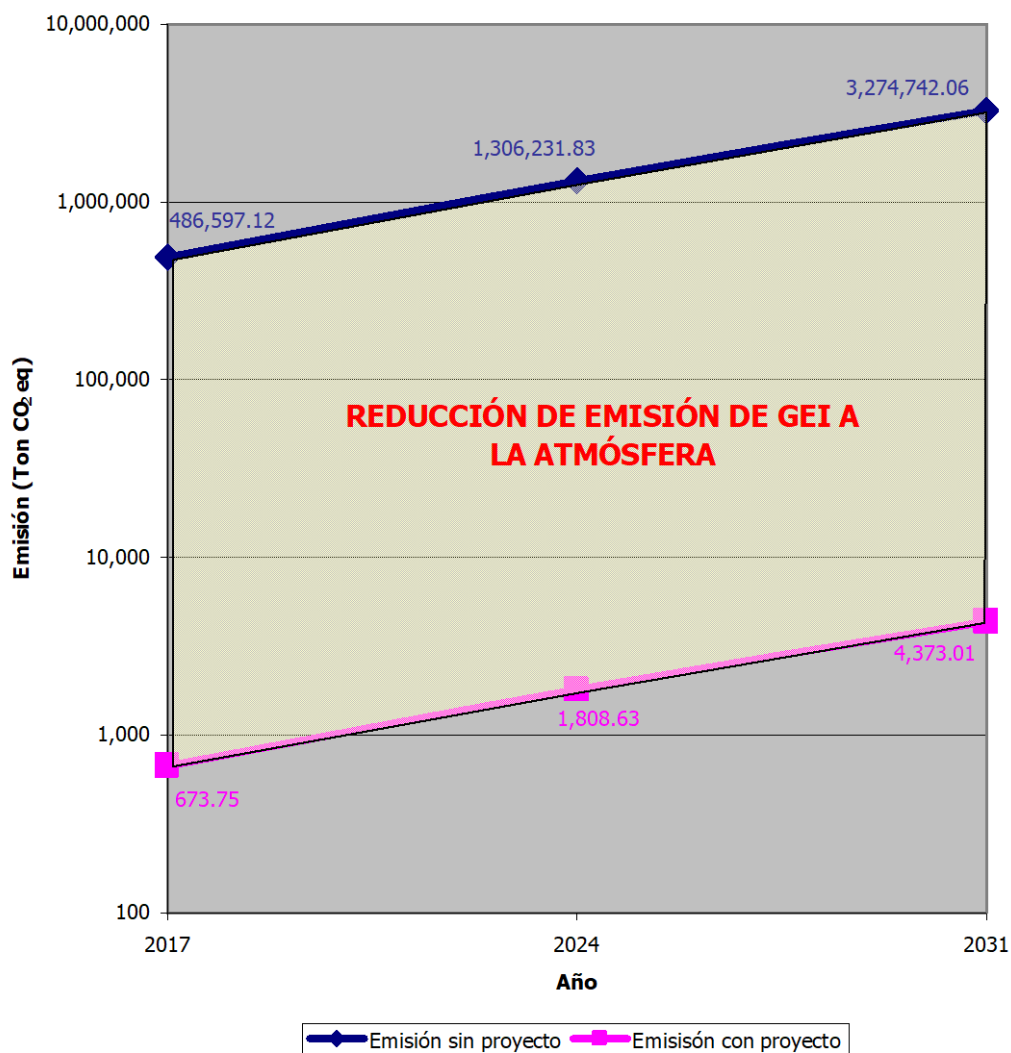


Figura 6.9: Reducción de emisión de GEI atribuible al proyecto MDL en el sector de refrigeración doméstica en un escenario de prácticas inadecuadas, para un periodo de acreditación de 7 años renovable en dos oportunidades (ciclo de vida: 15 años).



Lo anterior se obtuvo del cálculo del impacto directo al calentamiento global generado por el sector de refrigeración doméstica, en los diferentes periodos de acreditación y para los posibles escenarios futuros.

## 6.2 Sector de refrigeración comercial

Teniendo en cuenta que el consumo de refrigerante en Colombia mantiene una proporción de 12% para el sector doméstico y el 88% restante para el sector de refrigeración comercial y otros usos de frío, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 6.3: *Impacto directo al calentamiento global: emisión de refrigerante 134a generada por el sector de refrigeración comercial en los diferentes periodos de acreditación (escenario con y sin proyecto).*

Periodo de acreditación	Año	Emisión sin proyecto (TonCO <sub>2</sub> eq)	Emisión con proyecto (TonCO <sub>2</sub> eq)	Reducción de emisión (TonCO <sub>2</sub> eq)
A 7 años renovable 2 veces	2017	3.568.378,85	4.940,83	3.563.438,01
	2024	9.579.033,41	13.263,28	9.565.770,13
	2031	17.281.204,08	23.927,82	17.257.276,26
A 10 años	2020	6.830.747,56	9.457,96	6.821.289,61

A partir de la tabla 6.3, se estableció línea base de la emisión de GEI con y sin la implementación de los hidrocarburos como agentes refrigerantes en el sector comercial, esto se puede observar en las siguientes figuras:

Figura 6.10: *Línea base del impacto directo: Emisión de refrigerante 134a generada por el sector de refrigeración comercial para periodos de acreditación de 7 años renovable en dos oportunidades*

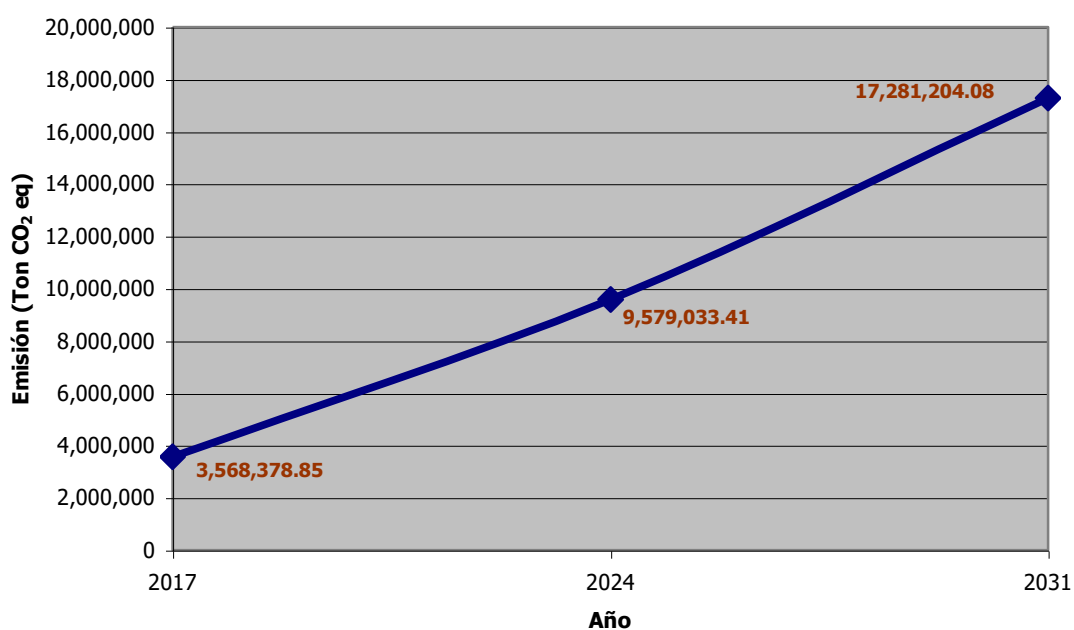




Figura 6.11: Línea base del impacto directo: Emisión de hidrocarburos generada por el sector de refrigeración comercial para periodos de acreditación de 7 años renovable en dos oportunidades

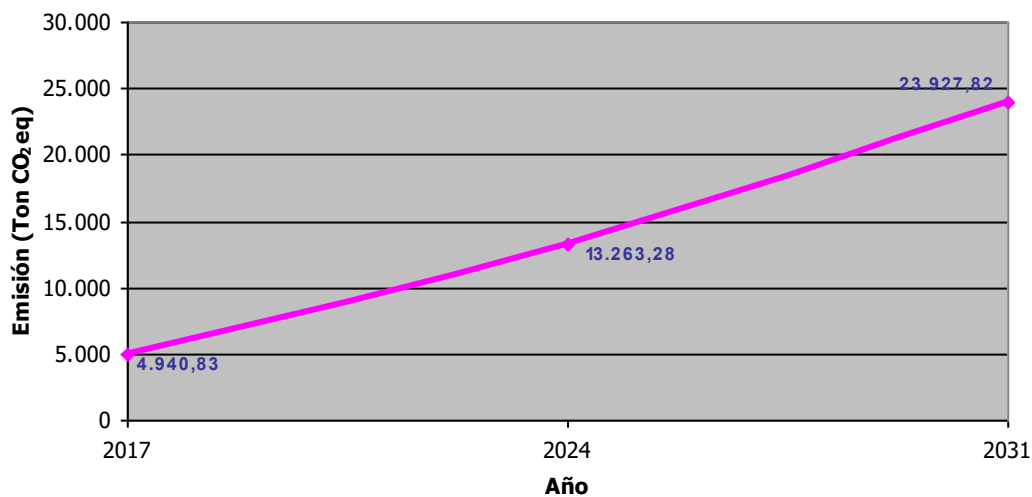
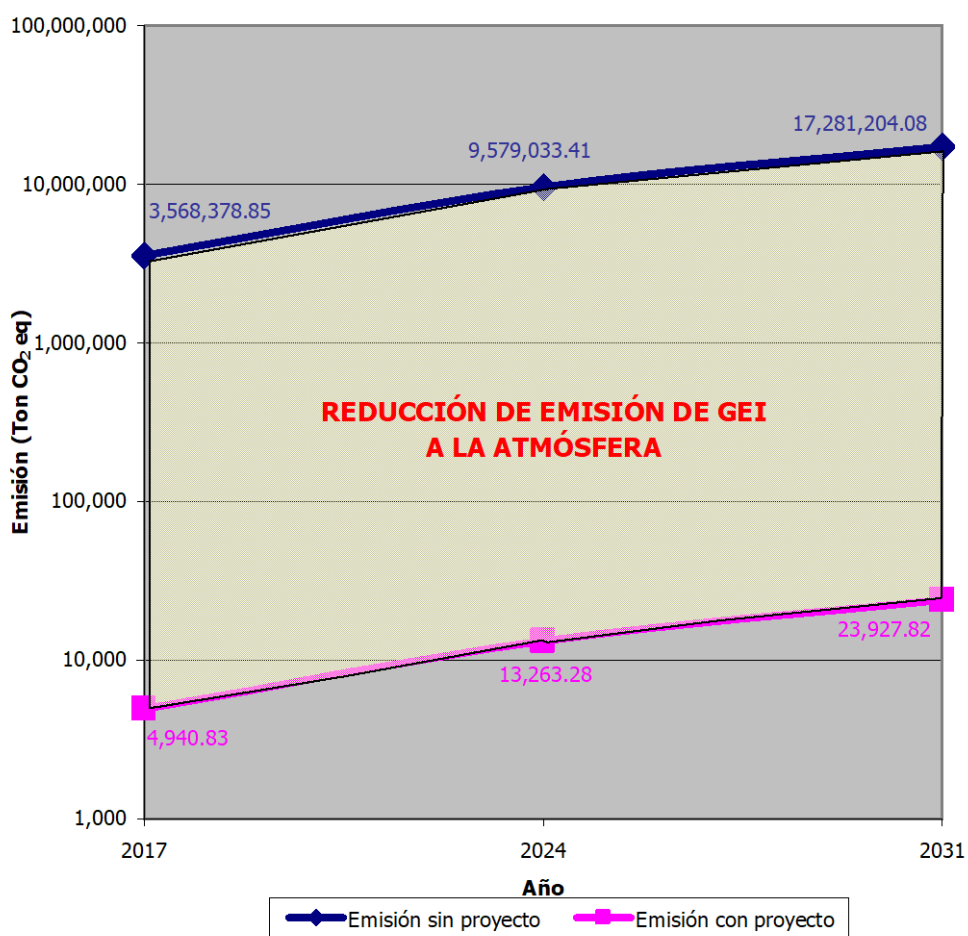


Figura 6.12: Reducción de emisión de GEI atribuible al proyecto MDL en el sector de refrigeración comercial para un periodo de acreditación de 7 años renovable en dos oportunidades



### 6.3 Consumo de energía eléctrica por el sector de refrigeración

Como se comentó durante el desarrollo del proyecto, existe un efecto o impacto indirecto al calentamiento global generado por el consumo de energía eléctrica de los equipos de refrigeración. De acuerdo con los escenarios planteados y las características del sector de refrigeración se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 6.4: *Impacto indirecto: Consumo de energía eléctrica generada por el sector de refrigeración doméstica en los diferentes periodos de acreditación (ciclo de vida: 25 años)*

Periodo de acreditación	Año	Emisión sin proyecto (TonCO <sub>2</sub> eq)
A 7 años renovable 2 veces	2017	5.394.717,01
	2024	14.660.802,65
	2031	26.523.888,82
A 10 años	2020	10.379.822,47

Tabla 6.5: *Impacto indirecto: Consumo de energía eléctrica generada por el sector de refrigeración doméstica en los diferentes periodos de acreditación (ciclo de vida: 15 años)*

Periodo de acreditación	Año	Emisión sin proyecto (TonCO <sub>2</sub> eq)
A 7 años renovable 2 veces	2017	5.394.717,01
	2024	14.660.802,65
	2031	23.479.264,53
A 10 años	2020	10.379.822,47

A partir de las tablas anteriores se determinó la representación de las líneas bases del impacto indirecto al calentamiento global generado por el sector de refrigeración doméstica (Figuras 6.13 y 6.14)

Figura 6.13: *Línea base del impacto indirecto: consumo de energía eléctrica generada por el sector de refrigeración doméstica para periodos de acreditación de 7 años renovable en dos oportunidades (ciclo de vida: 25 años)*

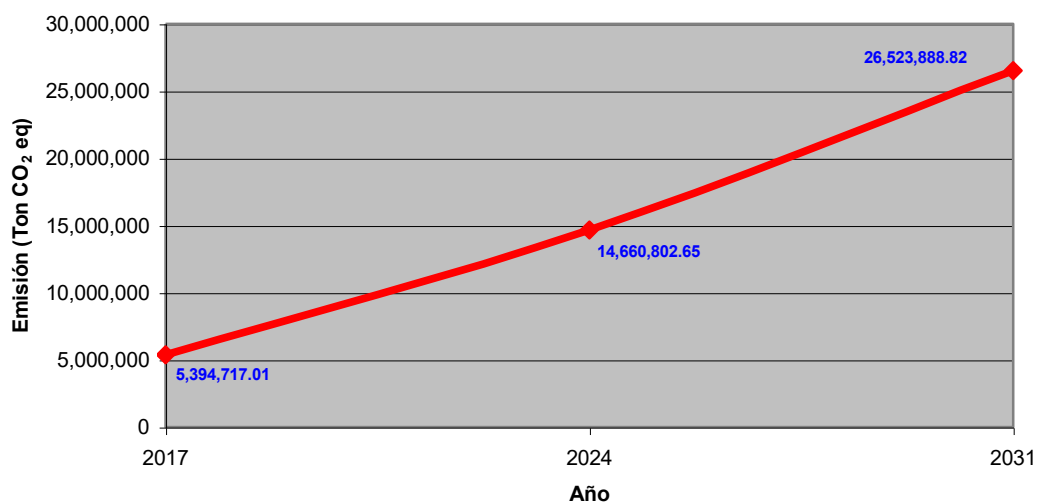
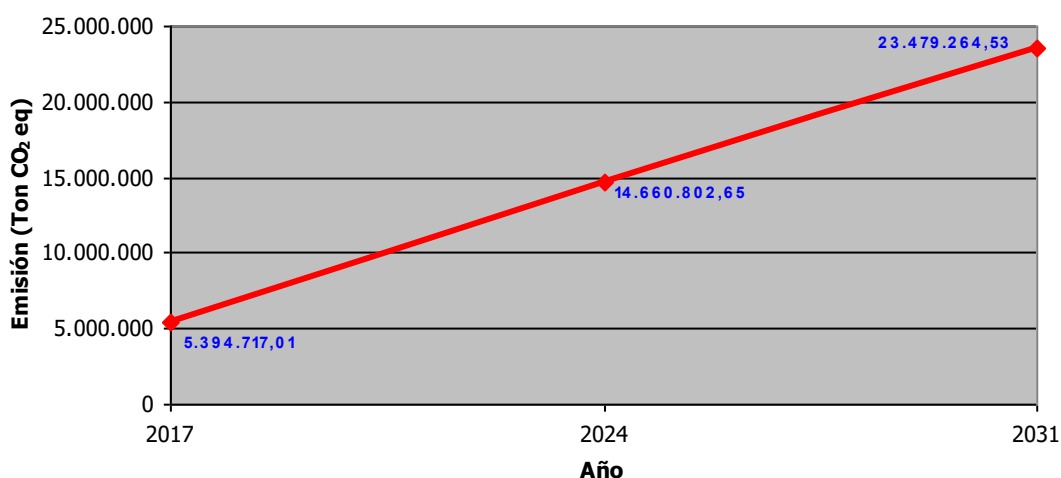


Figura 6.14: Línea base del impacto indirecto: consumo de energía eléctrica generada por el sector de refrigeración doméstica para periodos de acreditación de 7 años renovable en dos oportunidades (ciclo de vida: 15 años)



#### 6.4 Incentivo económico del proyecto por mercado de carbono

Los ingresos generados por el mercado de carbono en cada sector y para los diferentes escenarios establecidos se observan en las tablas 6.6 a 6.8.

Por otra parte, las tablas 6.9 a 6.10 representan el incentivo económico generado por la implementación del proyecto MDL teniendo en cuenta los costos atribuibles al ciclo del proyecto MDL para obtener las reducciones certificadas de emisiones. Según el GMCC estos costos están representados por:

Validación=20.000 US\$/periodo de acreditación

Registro=30.000 US\$/periodo de acreditación

Registro=15.000 US\$/año, es decir 105.000 US\$/periodo de acreditación de 7 años renovable 2 veces y 150.000 US\$/periodo de acreditación de 10 años

Tabla 6.6: Posibles escenarios del mercado de carbono atribuibles a la implementación del proyecto MDL en el sector de refrigeración doméstica (ciclo de vida: 25 años)

Periodo de acreditación	Año	Reducción atribuible al proyecto (TonCO <sub>2</sub> equivalente)	Reducción disponible para transacción (98%) (TonCO <sub>2</sub> equivalente)	7us\$/TonCO <sub>2</sub> eq	5us\$/TonCO <sub>2</sub> eq	3us\$/TonCO <sub>2</sub> eq
				MERCADO DE CARBONO (US\$/TonCO <sub>2</sub> eq)	MERCADO DE CARBONO (US\$/TonCO <sub>2</sub> eq)	MERCADO DE CARBONO (US\$/TonCO <sub>2</sub> eq)
A 7 años renovable 2 veces	2017	485.923,37	476.204,90	3.333.434,29	2.381.024,49	1.428.614,70
	2024	1.304.423,20	1.278.334,74	8.948.343,15	6.391.673,68	3.835.004,21
	2031	2.353.264,94	2.306.199,65	16.143.397,52	11.530.998,23	6.918.598,94
A 10 años	2020	930.175,86	911.572,34	6.381.006,37	4.557.861,69	2.734.717,01

Tabla 6.7: Posibles escenarios del mercado de CO<sub>2</sub> equivalente atribuibles a la implementación del proyecto MDL en el sector de refrigeración doméstica (ciclo de vida: 15 años)

				7us\$/TonCO <sub>2</sub> eq	5us\$/TonCO <sub>2</sub> eq	3us\$/TonCO <sub>2</sub> eq	
	Periodo de acreditación	Año	Reducción atribuible al proyecto (100%) (TonCO <sub>2</sub> equivalente)	Reducción disponible para transacción (98%) (TonCO <sub>2</sub> equivalente)	MERCADO DE CARBONO (US\$/TonCO <sub>2</sub> eq)	MERCADO DE CARBONO (US\$/TonCO <sub>2</sub> eq)	MERCADO DE CARBONO (US\$/TonCO <sub>2</sub> eq)
Prácticas inadecuadas en disposición final de	A 7 años renovable 2 veces	2017	485.923,37	476.204,90	3.333.424,29	2.381.024,49	1.428.614,70
		2024	1.304.423,20	1.278.334,74	8.948.343,15	6.391.673,68	3.835.004,21
		2031	3.270.369,05	3.204.961,67	22.434.731,70	16.024.808,35	9.614.885,01
	A 10 años	2020	930.175,86	911.572,34	6.381.006,37	4.557.861,69	2.734.717,01
Buenas prácticas en disposición final de	A 7 años renovable 2 veces	2017	485.923,37	476.204,90	3.333.434,29	2.381.024,49	1.428.614,70
		2024	1.304.423,20	1.278.334,74	8.948.343,15	6.391.673,68	3.835.004,21
		2031	2.667.464,99	2.623.915,69	18.367.409,81	13.119.578,44	7.871.747,06
	A 10 años	2020	930.175,86	911.572,34	6.381.006,37	4.557.861,69	2.734.717,01

Tabla 6.8: Posibles escenarios del mercado de carbono atribuibles a la implementación del proyecto MDL en el sector de refrigeración comercial

				7us\$/TonCO <sub>2</sub> eq	5us\$/TonCO <sub>2</sub> eq	3us\$/TonCO <sub>2</sub> eq
Periodo de acreditación	Año	Reducción atribuible al proyecto (TonCO <sub>2</sub> equivalente)	Reducción disponible para transacción (98%) (TonCO <sub>2</sub> equivalente)	MERCADO DE CARBONO (US\$/TonCO <sub>2</sub> eq)	MERCADO DE CARBONO (US\$/TonCO <sub>2</sub> eq)	MERCADO DE CARBONO (US\$/TonCO <sub>2</sub> eq)
A 7 años renovable 2 veces	2017	3.563.438,01	3.492.169,25	24.445.184,78	17.460.846,27	10.476.507,76
	2024	9.565.770,13	9.374.454,73	65.621.183,11	46.872.273,65	24.123.634,19
	2031	17.257.276,26	16.912.130,73	118.384.915,12	84.560.653,66	50.736.392,20
A 10 años	2020	6.821.289,61	6.684.863,81	46.794.046,70	33.424.319,07	20.054.591,44

Tabla 6.9: Incentivo económico generado por el proyecto MDL (Teniendo en cuenta los ingresos por el mercado de carbono y los egresos representados por las fases del ciclo del proyecto MDL) de acuerdo con las diferentes opciones del mercado de carbono en el sector de refrigeración doméstica

Escenario	Periodo de acreditación	Año	desarrollo del ciclo MDL (US\$)	Mercado de Carbono =7 US\$TonCO <sub>2</sub> eq		Mercado de carbono =5 US\$TonCO <sub>2</sub> eq		Mercado de Carbono =3 US\$TonCO <sub>2</sub> eq	
				mercado de carbono (US\$)	Total	mercado de carbono (US\$)	Total	mercado de carbono (US\$)	Total
Ciclo de vida : 25 años	A 7 años renovable 2 veces	2017	155.000,00	3.333.434,29	3.178.434,29	2.381.024,49	2.226.024,49	1.428.614,70	1.273.614,70
		2024	155.000,00	8.948.343,15	8.793.343,15	6.391.673,68	6.236.673,68	3.835.004,21	3.680.004,21
	A 10 años	2031	155.000,00	16.143.394,52	15.988.397,52	11.530.998,23	11.375.998,23	6.918.598,94	6.763.598,94
		2020	200.000,00	6.381.006,37	6.181.006,37	4.557.861,69	4.357.861,69	2.734.717,01	2.534.717,01
Prácticas inadecuadas. Ciclo de vida: 15 años	A 7 años renovable 2 veces	2017	155.000,00	3.333.434,29	3.178.424,29	2.381.024,49	2.226.024,29	1.428.614,70	1.273.614,70
		2024	155.000,00	8.948.343,15	8.793.343,15	6.391.673,68	6.236.673,68	3.835.004,21	3.680.004,21
	A 10 años	2031	155.000,00	22.434.731,70	22.279.731,70	16.024.808,35	15.869.808,35	9.614.885,01	9.549.885,01
		2020	200.000,00	6.381.006,37	6.181.006,37	4.557.861,69	4.357.861,69	2.734.717,01	2.534.717,01
Buenas prácticas Ciclo de vida: 15 años	A 7 años renovable 2 veces	2017	155.000,00	3.333.434,29	3.178.434,29	2.381.024,49	2.226.024,49	1.428.614,70	1.273.614,70
		2024	155.000,00	8.948.343,15	8.793.343,15	6.391.673,68	6.236.673,68	3.835.004,21	3.680.004,21
	A 10 años	2031	155.000,00	18.367.409,81	18.212.409,81	13.119.578,44	12.964.578,44	7.871.747,06	7.716.747,06
		2020	200.000,00	6.381.006,37	6.181.006,37	4.557.861,69	4.357.861,69	2.734.717,01	2.534.717,01

Tabla 6.10: Incentivo económico generado por el proyecto MDL (Teniendo en cuenta los ingresos por el mercado de carbono y los egresos representados por las fases del ciclo del proyecto MDL) de acuerdo con las diferentes opciones del mercado de carbono en el sector de refrigeración comercial

Periodo de acreditación	Año	Egreso por desarrollo del ciclo MDL (US\$)	Mercado de Carbono =7 US\$TonCO <sub>2</sub> eq		Mercado de Carbono= 5 US\$/TonCO <sub>2</sub> eq		Mercado de Carbono= 3 US\$/TonCO <sub>2</sub> eq.	
			Ingreso por mercado de Carbono (US\$)	Total	Ingreso por mercado de Carbono (US\$)	Total	Ingreso por mercado de Carbono (US\$)	Total
A 7 años renovable 2 veces	2017	155.000,00	24.445.184,78	24.290.184,78	17.460.846,27	17.305.846,27	10.476.507,76	10.321.507,76
	2024	155.000,00	65.621.183,11	65.466.183,11	46.872.273,65	46.717.273,65	28.123.364,19	27.968.364,19
	2031	155.000,00	118.384.915,12	118.229.915,12	84.560.653,66	84.405.653,66	50.736.392,20	50.581.392,20
A 10 años	2020	200.000,00	46.794.046,70	46.594.046,70	33.424.319,07	33.224.319,07	20.054.591,44	19.854.591,44

## 7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El interés de encaminar el proyecto a la relación entre las actividades que afectan la capa de ozono y el calentamiento global, llevó a buscar respuestas a las preguntas de qué, cómo, dónde y cuando, se podría reducir la emisión de sustancias que afectarían las condiciones normales del medio ambiente. De esta forma el desarrollo del proyecto de investigación, con el apoyo y dirección de la Unidad Técnica de Ozono y el Grupo de Mitigación del Cambio Climático, permitió establecer una estrategia adecuada para reducir la emisión de GEI generada por el uso del R-134a en el sector de refrigeración doméstica y comercial, a través de la implementación de hidrocarburos como agentes refrigerantes bajo el marco de Mecanismo de Desarrollo Limpio.

De acuerdo con esto, y a los momentos de fuga de GEI establecidos por el IPCC y el GETE, se trabajó en aquellos que se ajustan a las características del sector de refrigeración en el país.

En primer lugar, la localización del proyecto impide trabajar en las emisiones relacionadas a los GEI y a las SAO (CFC-114a, HCFC-133 y HCFC-124) producidos al momento de fabricar el refrigerante, ya que en Colombia no existe producción de ninguna sustancia refrigerante. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la producción de R-134a está en función de la demanda y una reducción ocasionada por la implementación de sustancias alternativas repercute en la capacidad de producción y el volumen producido de este gas en las plantas dedicadas a esta actividad.

En este marco del estudio, al disminuir la demanda de R-134a, disminuye su producción y a la vez la emisión de GEI subproductos de la fabricación de refrigerante generada por los principales países que abastecen al sector de refrigeración en Colombia<sup>29</sup> como México, Estados Unidos e India<sup>30</sup>, minimizando los efectos adversos al calentamiento global.

En cuanto al momento de manufactura del equipo, los procesos de fabricación desarrollados por el país representan riesgo de emisión de refrigerante ocasionado por la cantidad de conexiones entre las tuberías, estimado en un 1% de la totalidad de carga de refrigerante. Según el IPCC también existe el riesgo de fuga durante los procesos de purga previos a la carga del refrigerante, sin embargo, debido al costo del

---

<sup>29</sup> Teniendo en cuenta que Colombia se encuentra dentro del grupo de mayor consumo de América Latina, junto a Argentina, México, Brasil, Chile y Venezuela.

<sup>30</sup> Información obtenida del Banco de Datos de Comercio Exterior (BACEX) del Ministerio de Comercio

R-134a en Colombia este proceso se realiza con nitrógeno, el cual representa un ahorro económico para la industria y una reducción al impacto ambiental generado por el sector.

Otro momento de emisión que se descartó para el desarrollo del proyecto fue el establecido por la distribución del refrigerante y por su permanencia en la empresa durante las fases previas a la recarga en los procesos de fabricación de equipos. Esto debido a que los cilindros en los que se distribuye el refrigerante cuentan con las medidas de seguridad necesarias para proteger la válvula y de esta forma evitar el riesgo de emisión.

Por otra parte, gracias a la implementación de encuestas se determinó que la emisión de refrigerante al momento de la disposición final del equipo generalmente es total. Lo anterior, se debe a que en Colombia hasta ahora, no se han aplicado procedimientos para el reciclaje y recuperación o destrucción del refrigerante cuando este se encuentra en un equipo que ha terminado su ciclo de vida. Además de disponer los equipos en lugares poco adecuados para este fin, como lo son los rellenos sanitarios, los cuales no cuentan con las precauciones necesarias para minimizar la emisión de refrigerante. Lo anterior, se espera empiece a disminuir gracias al trabajo adelantado por la UTO con los técnicos para promover buenas prácticas en refrigeración<sup>31</sup> y los proyectos adelantados en chatarrización de neveras<sup>32</sup>.

Igualmente, las actividades de servicio y mantenimiento se tuvieron en cuenta al formular e implementar las encuestas y al calcular la aproximación de la línea base. Cabe resaltar que para los periodos de acreditación elegidos para implementar el proyecto MDL, la demanda del servicio de mantenimiento de equipos con R-134a estará a la orden del día, a diferencia de la situación que se está dando actualmente, en donde se considera que estos equipos son recientes y el servicio de mantenimiento no representa un momento relevante para el análisis de la situación actual.

---

<sup>31</sup> Trabajo realizado en conjunto con el SENA el cual se certifican técnicos en servicio y mantenimiento de sistemas de refrigeración y aire acondicionado de acuerdo con 5 normas obligatorias de competencia laboral, las cuales incluyen establecer las actividades operativas previas en los sistemas de refrigeración y aire acondicionado de acuerdo con el plan de mantenimiento, ejecutar acciones preventivas fundamentales, mejorar los sistemas mediante la alteración de un parámetro técnico para perfeccionar sus características ambientales, realizar un manejo ambiental de sustancias refrigerantes utilizadas según normatividad nacional e internacional y montar sistemas de refrigeración y aire acondicionado según las especificaciones técnicas para su operación.

<sup>32</sup> Proyecto de investigación realizado por estudiantes de la universidad de los Andes y la Universidad Nacional, en el cual se determinan las fases adecuadas para someter a los equipos de refrigeración doméstica de Colombia a procesos de chatarrización, en donde el refrigerante del equipo dispuesto es recuperado.

Lo anterior permitió dar prioridad a los diferentes momentos de emisión de refrigerante establecidos por la IPCC que aplican al sector de refrigeración en Colombia, y a los cuales se dirige el proyecto de investigación.

En cuanto a la depuración y compilación de la información obtenida durante este proyecto, esta se realizó utilizando las metodologías de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba, en donde, debido a la diferencia de fuentes, solo fue posible trabajar con datos de importación, producción y exportación de equipos correspondientes al periodo comprendido entre los años 2000 a 2003. Sin embargo, fueron suficientes para aproximar el comportamiento del sector doméstico a largo plazo.

Aunque para el sector comercial, el comportamiento del mercado durante este mismo periodo, no permitió establecer una función que determinara la cantidad de equipos existente a largo plazo, debido a la dinámica del sector, en donde la fabricación y la importación están en función de los pedidos de equipos realizados por los clientes, lo cual no se encuentra asociado a un crecimiento o decrecimiento estable. Igualmente, la inexistencia de una resolución que impida el uso de R-12 para la fabricación de equipos comerciales en Colombia puede influenciar en el comportamiento de las exportaciones, pues seguramente esta variable, se ve desfavorecida para los equipos con R-12. Es posible que los datos de exportación y fabricación tengan un comportamiento más estable en los siguientes años, ya que en el transcurso del año 2006 se va a implementar la normatividad que prohíba el uso de CFC-12 en la manufactura de equipos comerciales<sup>33</sup>.

A partir del balance de masas en el sector doméstico, se estableció la función que determina el comportamiento de este en años futuros, lo cual permitió calcular y determinar la línea base del efecto directo e indirecto al calentamiento global generado por los sistemas de refrigeración, establecidos para los dos posibles periodos de acreditación: 10 años ó 7 años renovables dos veces. Lo anterior se tomo de esa forma, teniendo en cuenta que se estima que el uso de hidrocarburos se pueda implementar aproximadamente para el año 2010, en donde se asume, que en el periodo comprendido entre los años 2006 a 2010 se estudien las medidas económicas, ambientales, sociales e industriales que implican la conversión de tecnología en los procesos de manufactura del sector; además de dar plazo para cumplir con los requisitos establecidos por la junta ejecutiva del MDL y el MAVDT para los proyectos aplicables al MDL.

---

<sup>33</sup> J. Sánchez. (Com.personal, abril de 2006)



Para una formulación completa de este proyecto dentro del marco del ciclo de un MDL, se debe tener en cuenta que en el presente documento, solo se realizó una aproximación a la formulación del mismo, siendo necesario estudiar más a fondo las variables que toman parte en la elaboración de la línea base. A su vez faltaría aplicar un análisis económico comparativo (con estimaciones y comparaciones de antes y después) que abarque costos, marco temporal, tasa de descuento, situación económica futura, límite del sistema, entre otras variables económicas que le darían más fuerza a los argumentos financieros.

### **7.1 Emisiones directas: Impacto al calentamiento global generado por la emisión de refrigerante a la atmósfera.**

#### **Sector de refrigeración doméstica**

Según la información obtenida por las encuestas implementadas en el sector y corroborada con los datos del anuario de industria manufacturera del DANE, la fabricación de equipos de refrigeración doméstica es en línea, es decir, las empresas dedicadas a la manufactura en este sector tienen una producción estable o una producción con crecimiento proporcional año tras año. Igualmente sucede con la cantidad de equipos importados y exportados según el Banco de Datos de Comercio Exterior (Bacex) del Ministerio de Comercio, por lo cual ambos comportamientos permitieron hallar una función lineal para calcular la cantidad de equipos existentes en diferentes años (Ecuación 5). Asimismo, las proyecciones del comportamiento del mercado del sector están relacionadas con las proyecciones de crecimiento poblacional calculadas por el DANE, es decir, existe una proporción de 1:3 entre cantidad de equipos y cantidad de habitantes.

A pesar de contar con datos confiables solo para un periodo de 4 años (2000-2003), se tiene la seguridad que estos datos corresponden a equipos cargados con R-134a de acuerdo con la resolución 528 de 1997 del MAVDT, la cual prohíbe la producción de equipos domésticos con R-12.

A partir de esto, se analizaron los factores y estimaciones para realizar una aproximación a la metodología, con el fin de calcular y determinar la línea base en el sector de refrigeración. Según los resultados obtenidos, aplicando dicha metodología en los diferentes periodos de acreditación establecidos para los proyectos MDL y teniendo en cuenta dos posibles escenarios de acuerdo con el ciclo de vida de los equipos uno de 25 años y otro de 15 años- se analizó que:

La formulación de un proyecto MDL en el sector de refrigeración doméstica determina, a través del cálculo de la línea base, una reducción a la emisión de GEI a la atmósfera como principal objetivo del Protocolo de Kyoto, donde la reducción de emisión de los gases atribuibles al proyecto es real. Esto debido a que los datos utilizados son verídicos y corresponden a la función lineal establecida para el comportamiento del sector y mensurables, al conocer la carga de refrigerante por equipo y el porcentaje estimado de fuga durante el proceso de fabricación, operación y mantenimiento y durante la disposición final del equipo, lo cual permite cuantificar las emisiones generadas por el sector a corto, mediano y largo plazo o durante los periodos de acreditación establecidos.

Figura 7.1: *Emisión de GEI generada por el sector de refrigeración doméstica en Colombia, en los diferentes escenarios para un periodo de acreditación de 7 años renovable en dos oportunidades (ciclo de vida de 25 años)*

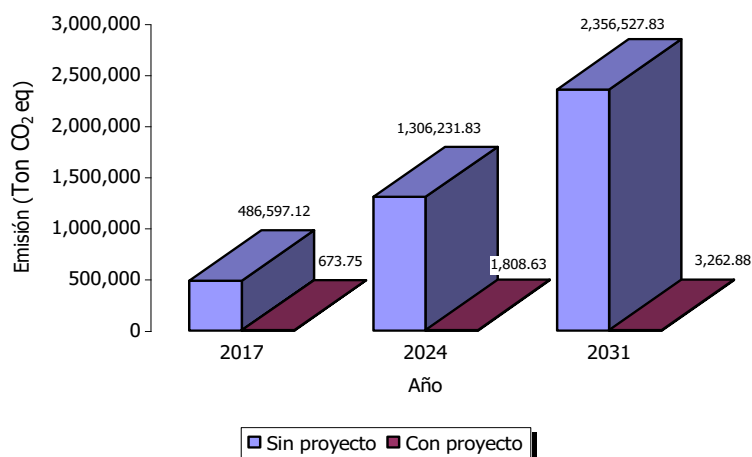
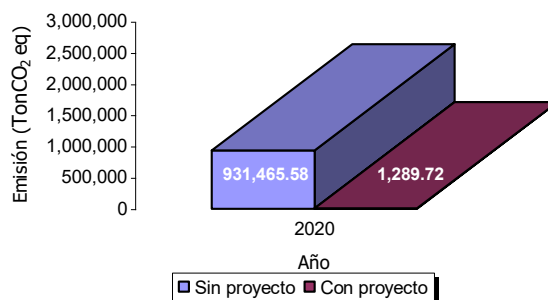


Figura 7.2: *Emisión de GEI generada por el sector de refrigeración doméstica en Colombia, en los diferentes escenarios para un periodo de acreditación de 10 años renovable en dos oportunidades (ciclo de vida de 15 años y 25 años)*



La figura 7.1 representa la emisión de R-134a a partir del año 2010. La emisión de GEI corresponde a 486.597,12; 1.306.231,83 y 2.356.527,83 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente para los periodos comprendidos entre 2010-2017, 2018-2024 y 2025-2031 respectivamente, esto si el proyecto llegara a desarrollarse en un periodo de acreditación de 7 años renovable en dos oportunidades.

Por el contrario, si el formulador del proyecto establece un periodo de acreditación de 10 años, es decir para el año 2020, el caso hipotético más probable de emisión de refrigerante es de 931.465,58 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente. (Figura 7.2)

Para ambos casos, la reducción de emisión de GEI atribuible a la implementación de hidrocarburos en los procesos de manufactura de equipos de refrigeración, representa aproximadamente el 99,8% de la emisión, esto implica que el uso de esta sustancia alternativa genera un impacto negativo al calentamiento global correspondiente tan solo al 0,2% del efecto que produce el R-134a.

Teniendo en cuenta que los términos de un proyecto MDL pueden ser a escala internacional, existe la posibilidad que la cuantificación de emisiones deba calcularse a partir de las definiciones teóricas y cantidades estándar. Es por esta razón que se presenta el escenario para un ciclo de vida de 15 años, periodo estándar internacional para los equipos de refrigeración doméstica.

Cabe mencionar que al realizar los cálculos con un ciclo de vida de 15 años y optar por un periodo de acreditación de 7 años renovable en dos oportunidades, los equipos fabricados desde el año 2010 hasta el año 2016 ya cumplen su ciclo de vida durante el periodo de acreditación comprendido entre los años 2025 a 2031. Dado que en Colombia actualmente no existe algún proceso adecuado para destruir el refrigerante ni un lugar óptimo para su disposición final que minimice la fuga de refrigerante, se asume que en el año en que finaliza el ciclo de vida la totalidad de la carga del equipo es emitida a la atmósfera. Lo anterior representa una diferencia para el año 2031 para el cual se ha acumulado la emisión generada por los equipos que han finalizado su ciclo de vida.

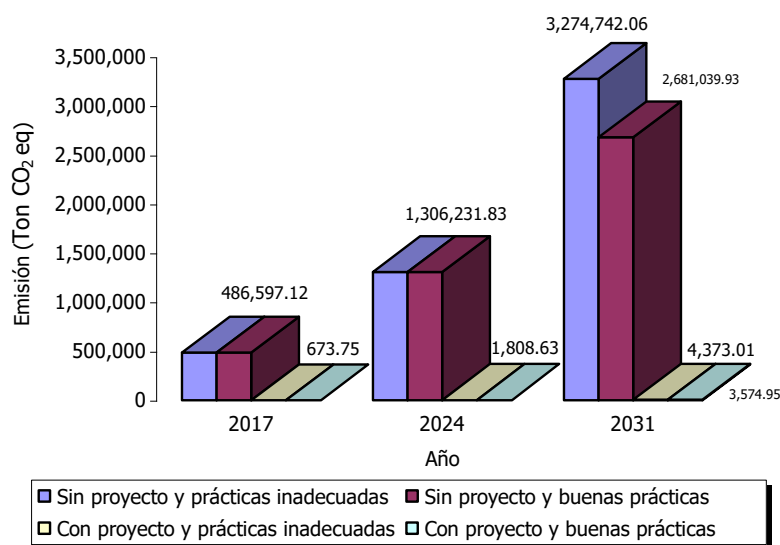
Sin embargo, las medidas y estrategias realizadas por la UTO, apuntan a que las prácticas en los procesos de recuperación y reciclaje de los refrigerantes, logren disminuir la emisión de refrigerante hasta un 50%<sup>34</sup> en el momento de la disposición

---

<sup>34</sup> De los ejercicios realizados internacionalmente en procesos R&R, se ha determinado que en los casos óptimos se alcanza a recuperar el 50% del refrigerante. Sánchez (Com. personal, 21 de abril, 2006)

final del equipo. Debido a lo anterior, se plantearon dos nuevos escenarios de emisión: el óptimo, que representa buenas prácticas y otro en el cual, por prácticas inadecuadas, se emite a la atmósfera la carga total de refrigerante del equipo. Estos escenarios se representan en la figura 7.3.

Figura 7.3: Emisión de GEI generada por el sector de refrigeración doméstica en Colombia, en los diferentes escenarios para un periodo de acreditación de 7 años renovable en dos oportunidades (ciclo de vida de 15 años)



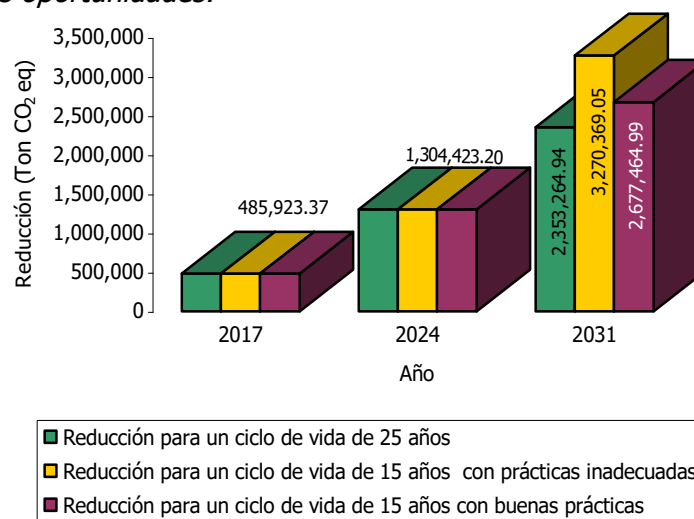
De acuerdo con esto, para el último periodo de acreditación, hay una diferencia de emisión de aproximadamente 600 mil toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente entre el escenario de buenas prácticas y el de prácticas inadecuadas en la disposición final de equipos, lo que al momento de negociar la transacción de CO<sub>2</sub> puede equivaler a cerca de 3 millones de dólares. Sin embargo, es poco probable que para los años a los que corresponden los periodos de acreditación, se sigan usando prácticas inadecuadas en el servicio y mantenimiento de equipos de refrigeración.

En este contexto, la reducción de emisión de GEI atribuible a la implementación del proyecto MDL esta dada por la resta entre el impacto al calentamiento global, en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, generado por la emisión de R-134a y el impacto por la emisión de hidrocarburos, esto se puede observar en la figura 7.4.

Esta situación se repite para un periodo de acreditación de 10 años, en el cual los equipos instalados aun no han finalizado su ciclo de vida, por esta razón se asume que no se ha generado emisión de GEI por disposición final de equipos. La reducción

corresponde a 930.175,86 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, tanto para un ciclo de vida de 15 años como para un ciclo de vida de 25 años, independiente de las prácticas de disposición final de equipos.

Figura 7.4: Reducción de emisión de GEI atribuible al proyecto MDL en el sector de refrigeración doméstica en Colombia para un periodo de acreditación de 7 años renovable en dos oportunidades.



Es necesario tener presente que las emisiones calculadas anteriormente representan el caso hipotético más probable si el proyecto se llegara o no a realizar, sin embargo, hay que tener en cuenta que estos valores pueden variar de acuerdo con el desarrollo tecnológico del sector a través del tiempo, por ejemplo, una reducción de carga de refrigerante por equipo, mejores prácticas en los procesos de mantenimiento y/o disposición final o la implementación de procesos R&R, generaría una disminución en la cantidad de emisiones de GEI reducidas por el desarrollo del proyecto MDL.

### **Sector de refrigeración comercial**

Dada la irregularidad del comportamiento del mercado del sector comercial en el país debido a que no se tiende a manejar una producción en línea sino bajo pedido de acuerdo con las necesidades del cliente, no fue posible establecer una ecuación que reflejara la tendencia del sector a corto, mediano y largo plazo.

Por esta razón, el sector comercial se trabajó a partir del comportamiento histórico con relación al sector doméstico, donde según los datos manejados por la UTO en el PNE, el 12% del refrigerante importado por Colombia es consumido por el sector doméstico, y el 88% restante por el sector comercial y demás usos de frío (Aire acondicionado,

servicio de mantenimiento de equipos, entre otros). La gran diferencia de porcentajes se debe a que a pesar, que la producción de equipos de refrigeración comercial es menor en comparación al sector doméstico, las cargas de refrigerante por equipo y el porcentaje anual de servicio de mantenimiento por fuga (por numerosas conexiones entre tuberías, cambio constante de lugar del equipo, mayor rotación de productos, frecuencia de uso, entre otros), es mucho mayor al de las neveras domésticas. Igualmente, estas condiciones acortan el ciclo de vida de los equipos, generando una mayor emisión de GEI por disposición final.

De acuerdo con lo anterior, la emisión de GEI, el cálculo y la determinación de la línea base, se hicieron aplicando dichos porcentajes en los diferentes periodos de acreditación para los escenarios con proyecto y sin proyecto, como se muestra en la figura 7.5 y 7.6

Figura 7.5: *Emisión de GEI generada por el sector de refrigeración comercial y otros usos de frío en Colombia en los diferentes escenarios para un periodo de acreditación 7 años renovable en dos oportunidades.*

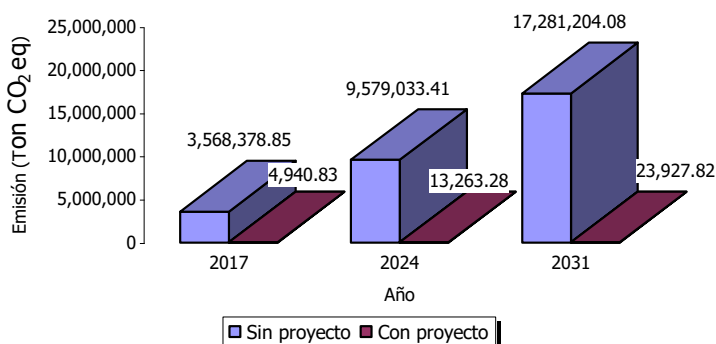
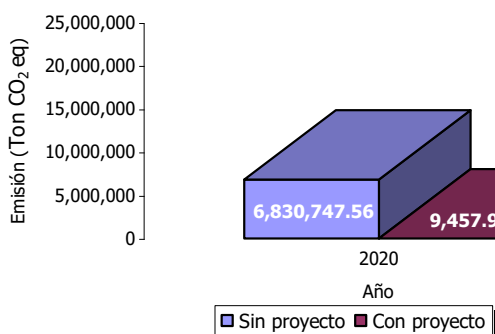


Figura 7.6 *Emisión de GEI generada por el sector de refrigeración comercial y otros usos de frío en Colombia en los diferentes escenarios para un periodo de acreditación de 10 años.*



A diferencia del sector doméstico, no se analizaron los escenarios correspondientes a los diferentes ciclos de vida y a la emisión generada por buenas o inadecuadas

prácticas en la disposición final de los equipos. Esto, debido al comportamiento irregular del sector comercial que dificultó la proyección de la cantidad de equipos comerciales instalados año tras año; igualmente no permitió calcular la cantidad de equipos que finalizan su ciclo de vida en determinado periodo de acreditación y en consecuencia, se desconoce la emisión de GEI por disposición final de estos equipos.

En las figuras 7.7 y 7.8 se observa la diferencia de reducción entre los dos sectores analizados, debido a la implementación de hidrocarburos como agente refrigerante, lo cual comprueba que a pesar de la poca cantidad de equipos producidos en el sector de refrigeración comercial y otros usos de frío, el impacto al calentamiento global es significativamente mayor al sector doméstico, por esta razón también es importante considerar la posibilidad de implementar un proyecto MDL en el sector comercial, conjuntamente con el sector doméstico, de esta manera la emisión de GEI generada por el sector de refrigeración en Colombia, sería eliminada casi en su totalidad.

Figura 7.7: Reducción de emisión de GEI atribuible al proyecto MDL para refrigeración doméstica, comercial y otros usos de frío en Colombia, para un periodo de acreditación de 7 años renovable en dos oportunidades.

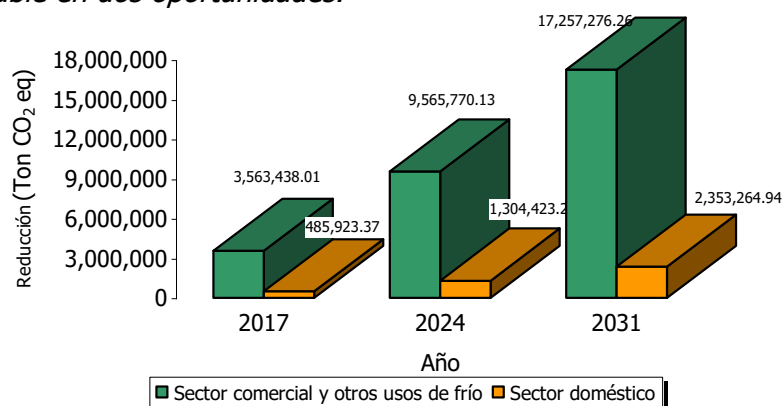
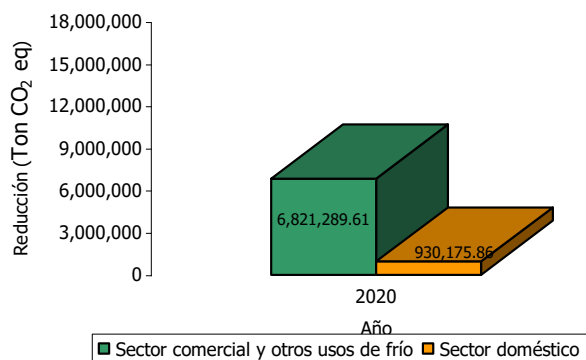
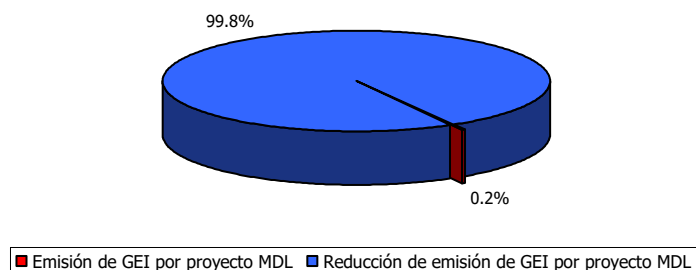


Figura 7.8: Reducción de emisión de GEI atribuible al proyecto MDL para refrigeración doméstica, comercial y otros usos de frío en Colombia, para un periodo de acreditación de 10 años.



Finalmente, el porcentaje de reducción que genera el uso de hidrocarburos como refrigerante alternativo muestra la efectividad ambiental de un proyecto MDL en el sector de refrigeración doméstica y comercial en Colombia (Figura 7.9)

Figura 7.9: *Porcentaje de reducción de emisión de GEI atribuible al proyecto MDL en el sector de refrigeración doméstica, comercial y otros usos de frío en Colombia.*



## **7.2 Emisiones indirectas: Impacto al calentamiento global generado por el consumo de energía eléctrica de los equipos de refrigeración doméstica y comercial.**

Aunque se estima que la eficiencia energética de los equipos que usan hidrocarburos es igual o puede llegar a ser mejor que los equipos tradicionales, es decir, la misma eficiencia del equipo tradicional con un consumo de energía igual o menor, no fue posible calcular y determinar la línea base del efecto indirecto si se implementaran hidrocarburos como agente refrigerante. La razón es que no se cuenta con un parque instalado de estos equipos, ni un laboratorio que permita medir su consumo energético. Por otra parte, puede que al utilizar el consumo energético de equipos instalados en otros países este difiera al aplicarlo en Colombia, por ejemplo, es posible que las cargas de refrigerante en los equipos varíe o que las temperaturas de trabajo y de operación sean diferentes a las utilizadas por la industria colombiana.

Sin embargo, la formulación del proyecto MDL en el sector de refrigeración doméstica se basa en la reducción de emisión de GEI generada por los efectos directos, aunque al desarrollar el proyecto MDL es conveniente considerar que puede existir una reducción adicional por el consumo de energía de los equipos con hidrocarburos. Es por esta razón, que se construyó una aproximación a la línea base de la emisión indirecta en el sector de refrigeración doméstica, en un escenario sin proyecto como base para el cálculo futuro de la reducción generada por la implementación del proyecto MDL.



Mediante las encuestas aplicadas se estableció que el consumo de energía eléctrica generada por los equipos domésticos es en promedio 1.14kWh/24h, y para el sector comercial un promedio de 2.5kWh/24h. Sin embargo, como se mencionó anteriormente el cálculo de la proyección de equipos comerciales instalados se vio limitada por la cantidad de datos y por el comportamiento del sector, por lo cual no fue posible calcular la línea base de la emisión indirecta en el sector comercial para un escenario sin proyecto.

A pesar de lo anterior se puede analizar, según el balance del parque instalado de equipos en ambos sectores, que aunque los equipos de refrigeración comercial representan poco más del doble del consumo de energía eléctrica de los equipos domésticos, el impacto indirecto al calentamiento global también esta en función de la cantidad de equipos instalados para un periodo de tiempo determinado.

Por ejemplo, en Colombia, en el periodo comprendido entre los años 2000 y 2005 existían 392.280 equipos de refrigeración comercial instalados, independiente del comportamiento del mercado en el sector año tras año y 1.501.384 de equipos domésticos en el mismo periodo. Aunque el consumo de energía eléctrica de los equipos comerciales es mayor que en los equipos de refrigeración doméstica, el impacto o la emisión indirecta al calentamiento global generada, representa aproximadamente un 60% para el sector doméstico y un 40% para el comercial. Lo anterior, si el comportamiento de ambos sectores se mantiene en los próximos años (Tabla 7.1 y 7.2).

Tabla 7.1: *Emisión indirecta generada por el sector de refrigeración comercial en Colombia (2000-2003)*

Equipos de refrigeración comercial instalados (un)	Consumo de e.e por cantidad de equipos (kWh/año)	2000	2001	2002	2003
173,686	156,317,400	156,317,400	156,317,400	156,317,400	156,317,400
25,228	22,705,200		22,705,200	22,705,200	22,705,200
144,446	130,001,400			130,001,400	130,001,400
48,920	44,028,000				44,028,000
392,280		156,317,400	179,022,600	309,024,000	353,052,000
Por factor de red (0.45kgCO <sub>2</sub> eq/kWh)		70,342,830	80,560,170	139,060,800	158,873,400
Emisión indirecta TonCO <sub>2</sub> eq. (2003)		448,837.20			

Tabla 7.2: *Emisión indirecta generada por el sector de refrigeración doméstica en Colombia (2000-2003)*

Año	Equipos de refrigeración doméstica instalados (un)	Consumo de e.e por cantidad de equipos (kWh/año)	2000	2001	2002	2003
2000	329,699	135308469.60	135,308,469.60	135,308,469.60	135,308,469.60	135,308,469.60
2001	363,637	149236624.80		149,236,624.80	149,236,624.80	149,236,624.80
2002	338,898	139083739.20			139,083,739.20	139,083,739.20
2003	469,150	192539160.00				192,539,160.00
Σ	1,501,384		135,308,469.60	284,545,094.40	423,628,833.60	616,167,993.60
	Por factor de red (0.45kgCO <sub>2</sub> eq/kWh)		60,888,811.32	128,045,292.48	190,632,975.12	277,275,597.12
	Emisión indirecta TonCO <sub>2</sub> eq (2003)		656,842.68			

Sin embargo, se debe tener en cuenta que la emisión indirecta generada puede variar en un futuro para ambos sectores, pues es posible que a través del tiempo existan cambios tecnológicos que influyan en las variables técnicas del equipo mejorando de esta forma, la eficiencia energética del sistema de refrigeración.

Por otra parte, cabe resaltar que fugas de refrigerante en pocas cantidades no solo se relacionan con los efectos o emisiones directas, pues al faltar refrigerante en el sistema se reduce el coeficiente de operación (COP), dando lugar a un consumo de energía mayor al generado en condiciones normales (IPCC/GETEa, 2005, pp.191, 192), ya que el equipo produce un trabajo extra para mantener el frío en su interior, haciendo funcionar el compresor por periodos más largos de lo normal.

### 7.3 Aproximación a los beneficios económicos del proyecto MDL

Es conveniente resaltar que, además de los beneficios ambientales generados por la implementación de hidrocarburos como refrigerantes en el sector doméstico y comercial, un proyecto MDL trae consigo un incentivo económico, dado por la posibilidad de vender las reducciones de GEI, determinadas en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente en el mercado internacional del carbono y por generar un mercado más competente a escala mundial bajo el esquema de lo que se conoce como “mercados verdes”.

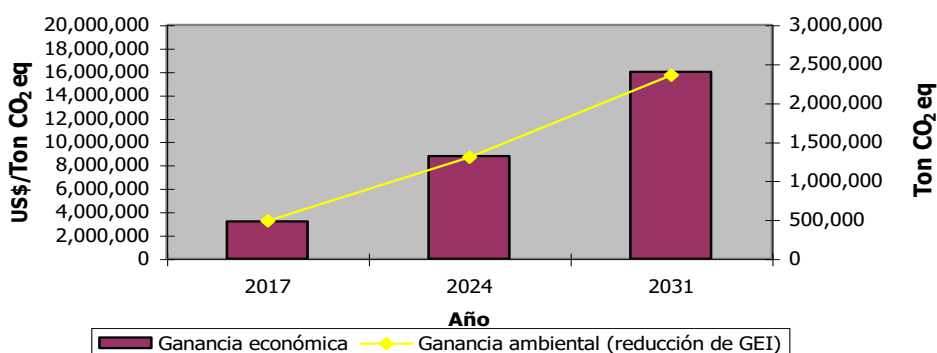
La aproximación económica atribuible al proyecto MDL, solo es posible de realizar teniendo en cuenta el comportamiento del mercado de emisiones, con la implementación de hidrocarburos en el sector de refrigeración doméstica y comercial. Hasta ahora no se ha formulado un proyecto MDL dentro del sector de refrigeración y al ser una propuesta relativamente nueva, no existe una metodología avalada por la Junta Ejecutiva del MDL para la formulación de un proyecto de estas características, lo

que representa una incertidumbre frente al valor de la tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente en el mercado. Debido a esto, con el fin de realizar una aproximación económica al respecto, se analizaron 3 escenarios diferentes de acuerdo con los posibles precios: uno optimista de 7 US\$/toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, un escenario medio donde la tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente es negociada a 5 US\$, y por último; uno que debido a la falta de metodología subestima el valor de cada tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente a 3 US\$.

Igualmente, cabe resaltar que la reducción de emisiones disponible para transacción con el país inversor al implementar el proyecto MDL en el sector, corresponde al 98% del total de reducción en cada periodo de acreditación, debido a que el 2% es otorgado a la Junta del MDL y destinado para el fondo de adaptación<sup>35</sup>.

Sin embargo, hasta en el peor de los casos, donde la tonelada es negociada a 3 US\$ y descontando los costos de validación, registro monitoreo y verificación, el proyecto MDL en ambos sectores de refrigeración, genera un incentivo económico por mercado de CO<sub>2</sub> equivalente, el cual puede cubrir la inversión inicial del país o la industria en la reconversión industrial, con la posibilidad de dejar buenas utilidades, lo que hace que el desarrollo del proyecto MDL siga siendo rentable. Las siguientes figuras representan los incentivos o ganancias económicas que genera la transacción de emisiones de GEI reducidas en los diferentes escenarios, a través de estas, se puede observar la rentabilidad del proyecto en los diferentes periodos de acreditación como herramienta para que el formulador del proyecto MDL establezca a qué periodo de acreditación se puede negociar la reducción de emisiones de GEI.

Figura 7.11: *Ganancia ambiental y económica atribuible al proyecto MDL en el sector de refrigeración doméstica para un periodo de acreditación de 7 años renovable en dos oportunidades, con un valor de venta de 7 US\$/TonCO<sub>2</sub>eq. (Ciclo de vida de 25 años)*



<sup>35</sup> Decisión 17/COP 7, F. Charry (Com.personal, 21 de abril, 2006)

Figura 7.12: *Ganancia ambiental y económica atribuible al proyecto MDL en el sector de refrigeración doméstica para un periodo de acreditación de 7 años renovable en dos oportunidades, con un valor de venta de 5 US\$/TonCO<sub>2</sub>eq. (Ciclo de vida de 25 años)*

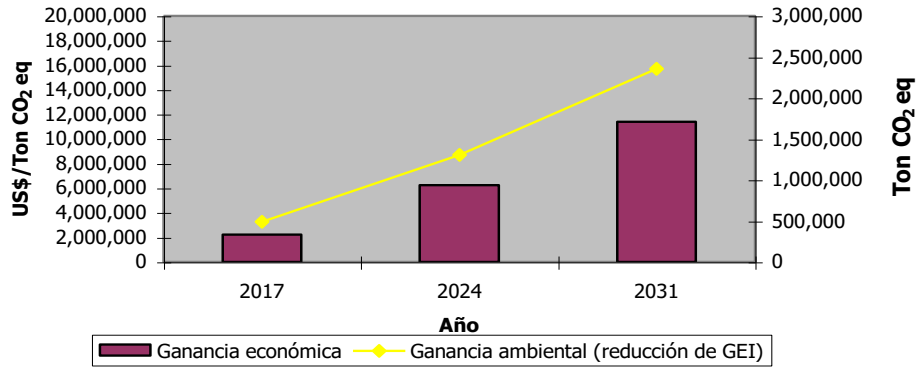


Figura 7.13: *Ganancia ambiental y económica atribuible al proyecto MDL en el sector de refrigeración doméstica para un periodo de acreditación de 7 años renovable en dos oportunidades, con un valor de venta de 3 US\$/TonCO<sub>2</sub>eq. (Ciclo de vida de 25 años)*

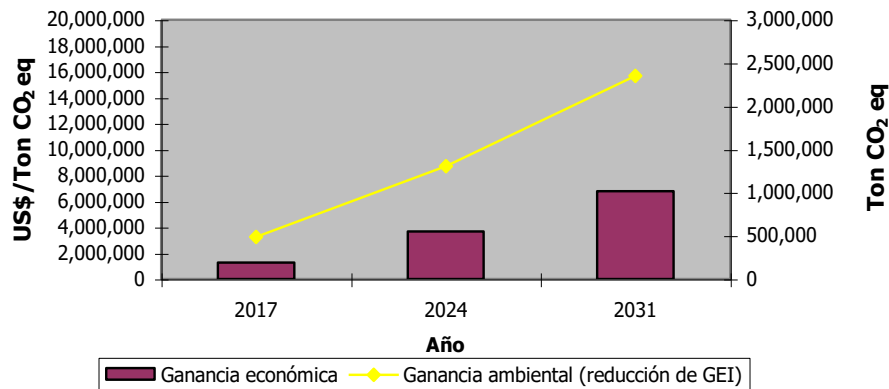


Figura 7.14: *Ganancia ambiental y económica atribuible al proyecto MDL en el sector de refrigeración doméstica para un periodo de acreditación de 10 años, con un valor de venta de 7 US\$/TonCO<sub>2</sub>eq. (Ciclo de vida de 15 y 25 años)*

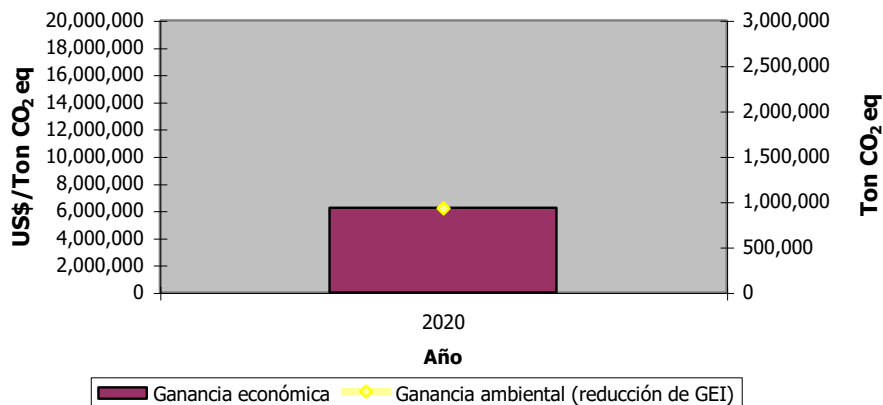


Figura 7.15: *Ganancia ambiental y económica atribuible al proyecto MDL en el sector de refrigeración doméstica para un periodo de acreditación de 10 años, con un valor de venta de 5 US\$/TonCO<sub>2</sub>eq. (Ciclo de vida de 15 y 25 años)*

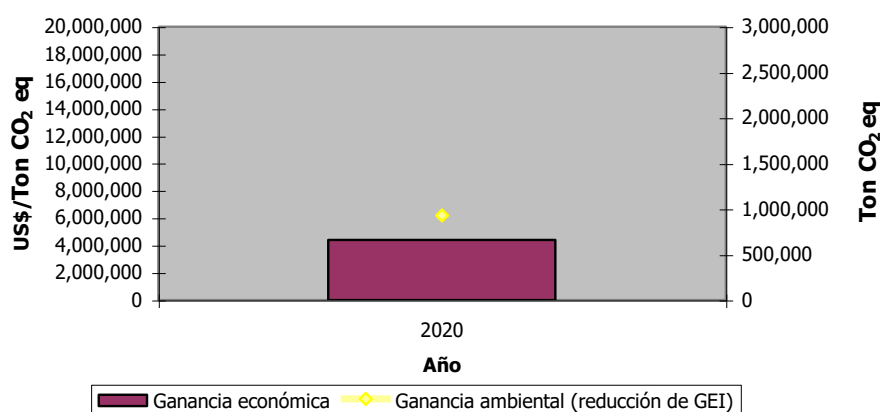
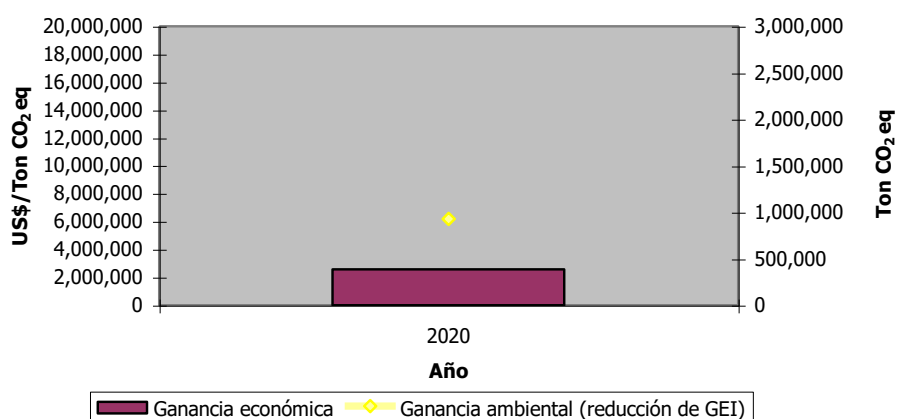


Figura 7.16: *Ganancia ambiental y económica atribuible al proyecto MDL en el sector de refrigeración doméstica para un periodo de acreditación de 10 años, con un valor de venta de 3 US\$/TonCO<sub>2</sub>eq. (Ciclo de vida de 15 y 25 años)*



Las figuras anteriores muestran el valor económico que deja el mercado del carbono y la inversión necesaria para obtener las reducciones certificadas de emisiones, para el sector doméstico en los diferentes escenarios. En este sentido, dicho valor es el incentivo económico que genera la aplicación del proyecto MDL en el sector doméstico. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, es necesario evaluar la posibilidad que la negociación de las reducciones se realice en términos estándares, es decir con un ciclo de vida para los equipos menor al de Colombia, esto genera una disminución en la reducción de emisiones para el periodo de acreditación a 21 años, y a la vez en el incentivo económico, aproximadamente el 6% que la ganancia económica generada en un ciclo de vida para los equipos de 25 años. Lo anterior evaluado para el desarrollo de buenas prácticas en el manejo y procesos de disposición final de equipos, pues este

escenario es más probable en un futuro, que el escenario de prácticas inadecuadas, teniendo en cuenta las medidas y estrategias desarrolladas por la UTO para esta actividad.

Igualmente que para el sector doméstico, existe un incentivo económico generado por la negociación de las reducciones certificadas de emisiones en el sector comercial, aún en el peor de los casos. Las siguientes figuras representan las ganancias económicas y ambientales en el sector comercial, como puede observarse, el incentivo económico es mayor al doméstico, pues la reducción de emisiones es mayor y la inversión inicial para la reconversión industrial seguramente también es mayor, dada la cantidad de empresas dedicadas a la manufactura de equipos comerciales en Colombia, que se tendrían que reconvertir.

Figura 7.17: *Ganancia ambiental y económica atribuible al proyecto MDL en el sector de refrigeración comercial para un periodo de acreditación de 7 años renovable en dos oportunidades, con un valor de venta de 7 US\$/TonCO<sub>2</sub>eq.*

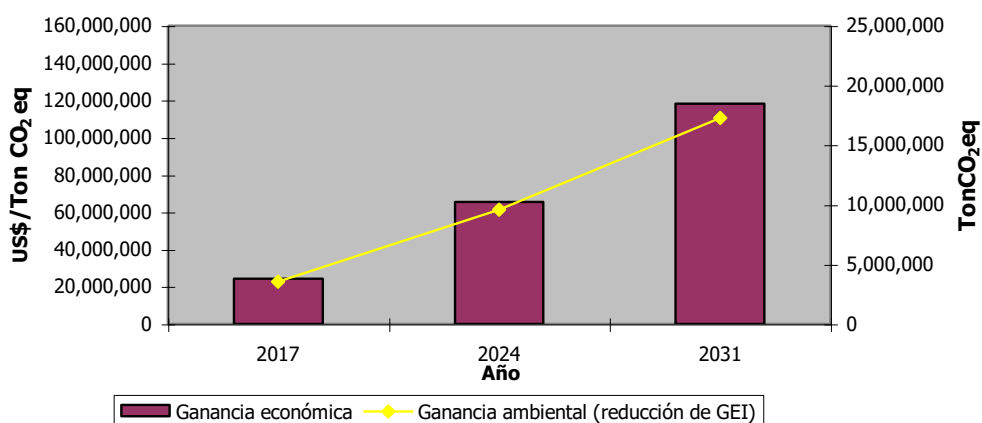


Figura 7.17: *Ganancia ambiental y económica atribuible al proyecto MDL en el sector de refrigeración comercial para un periodo de acreditación de 7 años renovable en dos oportunidades, con un valor de venta de 5 US\$/TonCO<sub>2</sub>eq.*

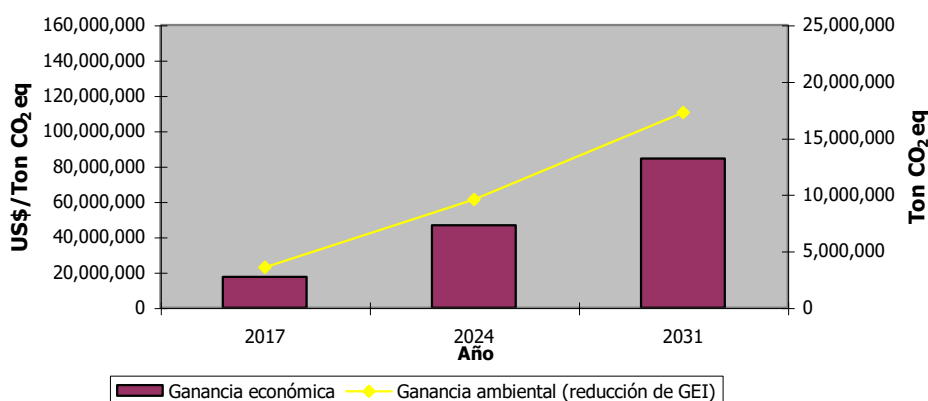


Figura 7.18: *Ganancia ambiental y económica atribuible al proyecto MDL en el sector de refrigeración comercial para un periodo de acreditación de 7 años renovable en dos oportunidades, con un valor de venta de 3 US\$/TonCO<sub>2</sub>eq.*

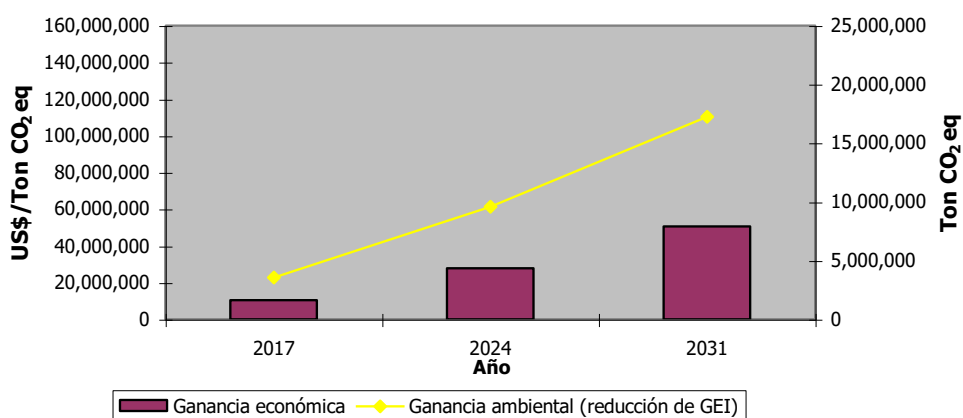


Figura 7.19: *Ganancia ambiental y económica atribuible al proyecto MDL en el sector de refrigeración comercial para un periodo de acreditación de 10, con un valor de venta de 7 US\$/TonCO<sub>2</sub>eq.*

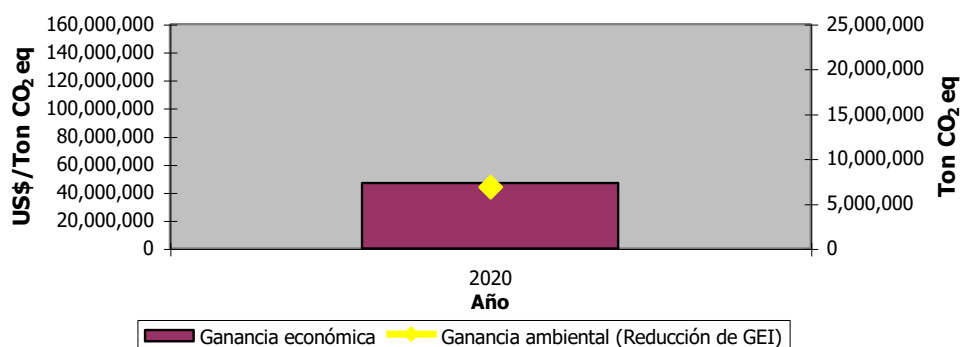


Figura 7.20: *Ganancia ambiental y económica atribuible al proyecto MDL en el sector de refrigeración comercial para un periodo de acreditación de 10, con un valor de venta de 5 US\$/TonCO<sub>2</sub>eq.*

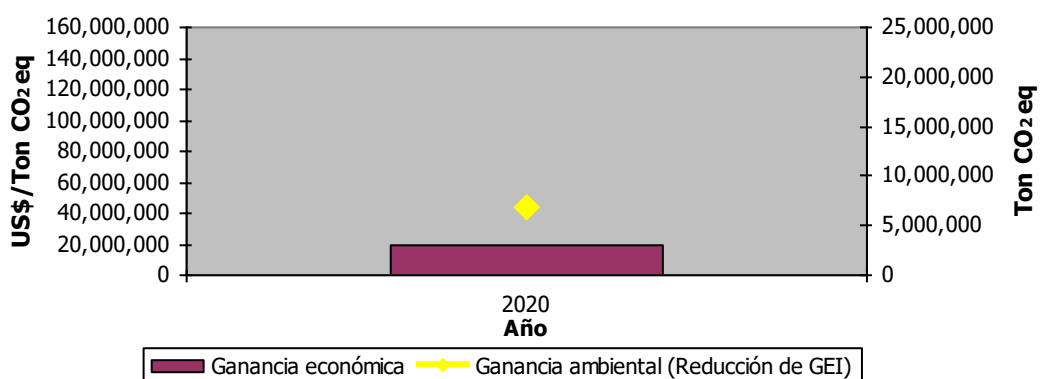
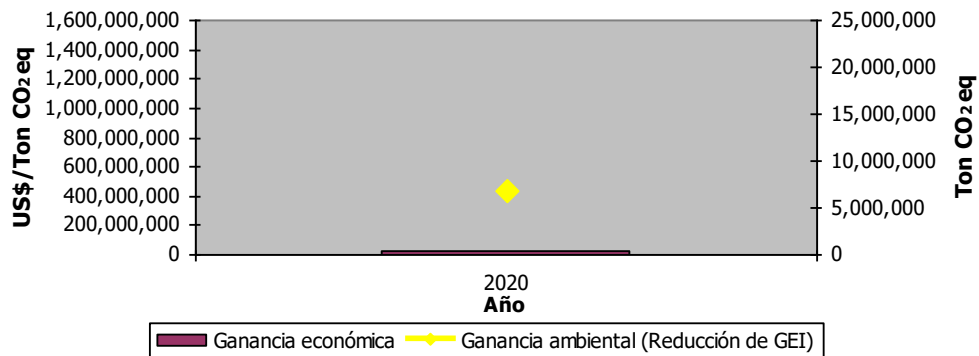


Figura 7.20: *Ganancia ambiental y económica atribuible al proyecto MDL en el sector de refrigeración comercial para un periodo de acreditación de 10, con un valor de venta de 3 US\$/TonCO<sub>2</sub>eq*



La aproximación al incentivo económico generado por la transacción de reducciones certificadas de emisiones, muestra que el proyecto es rentable para todos los escenarios de los sectores de refrigeración doméstica y comercial, aún con todas las posibilidades de venta de CO<sub>2</sub> equivalente. Esto prueba, que la implementación de hidrocarburos como agentes refrigerantes para reducir la emisión de GEI en el sector de refrigeración doméstica y comercial bajo el marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio, es una alternativa adecuada para disminuir los impactos generados al calentamiento global, a la vez que promueve el desarrollo de tecnologías limpias y genera incentivos económicos por la transacción de reducciones certificadas de emisiones.



## 8 CONCLUSIONES

- 1) La implementación del proyecto propuesto en este documento traería consigo importantes beneficios ambientales, especialmente en relación con la disminución del impacto al calentamiento global dado que se dejaría de emitir R-134a a la atmósfera proveniente de la manufactura, uso, mantenimiento y disposición final de los equipos de refrigeración.
- 2) Además, al recurrir a una sustancia alternativa, se reduce la demanda de HFC 134a generada por el sector de refrigeración doméstica y comercial; lo anterior se vería reflejado en una disminución gradual y significativa en la producción de R-134a, y por ende un menor impacto al calentamiento global, particularmente porque en el proceso de fabricación de esta sustancia se genera otro HFC como subproducto, el cual también posee un alto PCG.
- 3) Aunque los resultados de este proyecto de investigación son aproximaciones, estas se encuentran basadas en datos históricos manejados por la UTO, lo cual permitió realizar estimaciones válidas de lo que sería la realidad futura para el sector de refrigeración en Colombia.
- 4) A pesar de que es impreciso cuantificar exactamente las fugas de GEI emitidas por los equipos de refrigeración doméstica y comercial, debido a que estas se pueden detectar fácilmente más no cuantificar, la realización del proyecto de investigación demuestra que las emisiones a la atmósfera son reales y según las proyecciones, cada vez mayores.
- 5) El desarrollo de este proyecto a mediano o largo plazo en el sector de refrigeración en el país, cumpliría con los objetivos del Mecanismo de Desarrollo Limpio, dentro del cual la reducción de la emisión de GEI podría estar entre 500 y 2.700 Kilo toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente para el sector doméstico, generando un incentivo económico cercano a los 1.3 millones de dólares por la mínima reducción hasta alcanzar los 18 millones de dólares en el mejor de los escenarios.
- 6) Igualmente para el sector comercial y otros usos de frío, el desarrollo del proyecto MDL puede reducir la emisión de GEI mínimo en 3.600 kilo toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente hasta 17.300 kilo toneladas, generando un incentivo económico de 3.6 millones en el peor de los casos, hasta 118.230 millones de dólares por la máxima reducción de GEI generada por este sector.

- 7) Se debe tener en cuenta que las utilidades generadas por el mercado de carbono no son netas, ya que se debe descontar el costo de la reconversión industrial a hidrocarburos. Por otro lado, se debe resaltar que si ya existiera una metodología establecida y aprobada por la Junta Ejecutiva del MDL para este tema, el valor de cada tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente sería mayor y las utilidades del proyecto aumentarían debido a que no haría falta la financiación económica para el desarrollo metodológico del proyecto y haría menor la incertidumbre sobre el comportamiento del mercado de carbono en este aspecto.
- 8) Aparte de los beneficios económicos generados por el incentivo que representa el MDL al implementar el proyecto, las empresas dedicadas a la manufactura de equipos de refrigeración doméstica y comercial se verían favorecidas por otros aspectos económicos debido a que:
- Disminuye la vulnerabilidad del producto final a causa de los cambios en el mercado de divisas, en la adquisición del gas refrigerante;
  - Decrece la dependencia a la disponibilidad del recurso, en este caso el HFC 134a, porque sería menos necesaria la presencia de un intermediario mayorista;
  - El bajo costo de los HC en comparación con el precio de los refrigerantes tradicionales y la reducción de los porcentajes de carga de hidrocarburos en los sistemas de refrigeración, implica una reducción de costos de fabricación para la industria que realice la reconversión.
  - Aumenta la competitividad el mercado de equipos de refrigeración, volviéndose más competentes internacionalmente, dado que se manejaría un "mercado verde" o amigable con el ambiente, característica muy atractiva para muchos de los compradores en países desarrollados.
- 9) Este proyecto de investigación representa para Colombia la primera aproximación a un mecanismo de participación para la reducción de emisión de GEI, como lo es el MDL, que une esfuerzos entre las entidades encargadas de promover la implementación del Protocolo de Montreal y el Protocolo de Kyoto en nuestro país. De esta forma, este proyecto se suma a los proyectos realizados por Colombia para participar en las estrategias mundiales que buscan mitigar los efectos al calentamiento global.
- 10) Cabe resaltar que la producción de equipos de refrigeración doméstica y comercial basada en hidrocarburos, ha demostrado a escala mundial ser una buena alternativa al uso de sustancias nocivas para la capa de ozono y para el cambio de

la temperatura mundial, tanto en países Europeos como Francia, España y Gran Bretaña, como en países vecinos como Argentina y Brasil. Además, no siempre es necesario que las medidas para el cuidado del planeta estén ligadas a acciones obligatorias o represivas, especialmente si se trabaja viendo el problema como un asunto global, donde las acciones de un país pueden afectar o beneficiar al mundo entero, contribuyendo de esa manera con el desarrollo sostenible del país.

- 11) La realización de este proyecto, presentado para obtener el título de ingeniería ambiental, ha dejado satisfechas todas las expectativas personales y académicas, al cumplir con los objetivos propuestos y poner en práctica los conocimientos obtenidos durante la carrera, además de tener la experiencia de trabajar en conjunto con la UTO y el GMCC.

## 9 RECOMENDACIONES

- 1) Debido a que las cantidades de refrigerante 134a que se dejarían de emitir y por consiguiente de consumir mediante el desarrollo del proyecto MDL representan una reducción de emisiones de GEI adicionales, cumpliendo así con los requisitos establecidos por la Junta Ejecutiva del MDL, la continuación del proyecto debe ser considerada como posible estrategia para participar en los diferentes mecanismos de colaboración creados por el Protocolo de Kyoto para mitigar el calentamiento global. Lo cual vale la pena ser considerado a mediano o largo plazo con los aspectos de seguridad y reconversión industrial pertinentes.
- 2) Es necesario ampliar el tema de la disponibilidad del hidrocarburo como refrigerante en Colombia. Se conoce que en nuestro país ECOPETROL, dentro de sus procesos de refinación y petroquímica produce 20 mil barriles/día de gases licuados del petróleo (GLP), de los cuales un 30% queda disponible como propano<sup>36</sup>, este remanente podría ser empleado como materia prima para producir HC refrigerante, con el fin de abastecer al sector de refrigeración de Colombia. Sin embargo, el uso de hidrocarburos como refrigerantes, depende de su grado de pureza, y se debe investigar de una manera más completa los procesos necesarios previos a la producción de la sustancia alternativa, de manera que implique para el sector de refrigeración un refrigerante competente en comparación con los refrigerantes alternativos.
- 3) Debido a que el presente documento solo trata el sector de refrigeración doméstica y comercial y otros usos de frío en Colombia, sería importante que en futuros proyectos se trabajara en la reducción de emisiones de GEI en los otros sectores que reemplazaron SAOs por HFCs y PFCs como lo son: la fabricación de espumas, aerosoles y extintores, entre otros, y aprovechar de esta forma los incentivos económicos promovidos por el Protocolo de Kyoto con el fin de reducir el impacto al calentamiento global.
- 4) Se debe tener en cuenta para estudios futuros referentes al tema, que los equipos instalados con hidrocarburos y con un diseño adecuado pueden poseer igual o mejor eficiencia energética que los equipos con refrigerantes tradicionales, esto representa un ahorro en el consumo de energía eléctrica por equipo, es decir, una

---

<sup>36</sup> F. Sanabría (Com. Personal. A través del Sr. Pedro Morales, abril, 2006)

disminución de emisión de GEI a la atmósfera generada por el efecto indirecto al calentamiento global que producen los sistemas de refrigeración.

- 5) Este proyecto sirve como modelo a seguir en un futuro para los diferentes proyectos que apliquen a esta metodología. Sin embargo, aunque las predicciones establecidas en este proyecto son claras y los aspectos que puedan cambiar los resultados están analizados, es importante profundizar en las estimaciones realizadas para este documento dentro de unos años, cuando existan más datos registrados y publicados sobre equipos de refrigeración que estén funcionando a partir de HFC 134a y de esta manera reducir el grado de incertidumbre a la hora de realizar las proyecciones.
- 6) Con el fin de aumentar la reducción de GEI generadas por el sector y de esta manera el incentivo económico, se pueden establecer diferentes estrategias de reducción de emisiones de GEI en la fuente como por ejemplo:
  - Desarrollar un modelo menos conservador que el trabajado en este documento; pues no se tuvo en cuenta la emisión generada por los equipos de refrigeración producidos en Colombia que son exportados. Ya que el hecho de que un equipo salga de las fronteras colombianas, no impide que sus fugas aporten al problema del calentamiento global.
  - Acompañar el proceso de reconversión industrial a hidrocarburos, con la creación de una planta de chatarrización de equipos que operen con GEI. De esta manera las emisiones no solo corresponderían a los equipos producidos entre el 2010 y el 2031, sino que abarcarían el refrigerante recuperado y reciclado de la planta de chatarrización de equipos instalados antes de comenzar el proyecto MDL, es decir, incluir los equipos instalados desde que el HFC 134a esta siendo empleado como agente refrigerante en los procesos de producción de equipos en Colombia, siempre y cuando esta condición sea aprobada por la Junta Ejecutiva del MDL como actividad elegible al MDL.
- 7) Dirigir el proyecto a usuarios finales, quienes indirectamente influyen en el mercado hacia la implementación de hidrocarburos en los sistemas de refrigeración. Por ejemplo, multinacionales como Coca-Cola, Unilever y McDonald's, ya están comprometidas con Green Peace a que sus productos se manejen únicamente en equipos de refrigeración que usen sustancias alternativas como los hidrocarburos.

- 8) Para darle continuidad a este proyecto de investigación, el paso a seguir sería divulgar el estudio realizado ante los industriales de la ANDI, Banco Mundial y demás entidades financieras multilaterales que puedan interesarse en los temas aquí desarrollados.
- 9) La necesidad de fomentar el desarrollo sostenible en países como Colombia, ha llevado a la creación de mecanismos a escala mundial para prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente. La participación en mecanismos como el MDL, mecanismos financieros o aquellos que permiten acceder a tecnologías más limpias, trae consigo beneficios ambientales, sociales, industriales y económicos. Es por esta razón que, en universidades o diferentes instituciones, vale la pena considerar la implementación de nuevas líneas de investigación enfocadas al desarrollo sostenible mediante los diferentes mecanismos de participación.

## 10 BIBLIOGRAFÍA

### FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

- CISNEROS, Omar. Formulación del plan de manejo para las sustancias HFC 134a y CFC 141b para pequeñas y medianas empresas del sector de refrigeración comercial en el marco de cooperación institucional entre la Unidad Técnica de Ozono e industrias del sector. Universidad El Bosque, Facultad de Ingeniería Ambiental. Bogotá DC. Diciembre 3 de 2004.
- CONSEJO NACIONAL DE POLITICA ECONÓMICA Y SOCIAL (CONPES). Documento Conpes 3242. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), Dirección Nacional de Planeación (DNP). Estrategia interinstitucional para la venta de servicios ambientales de la mitigación del Cambio Climático. Bogotá D.C Agosto 25 de 2005.
- DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ENCUESTAS DANE. Anuario de Industria Manufacturera años 1997 a 2003. Bogotá D.C
- DANE. Clasificación Central de Productos adaptado para Colombia. Bogotá D.C
- EMPRESA COLOMBIANA DE PETROLEOS ECOPETROL. El petróleo y su mundo. Bogotá, DC., Mayo de 2003
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) & GRUPO DE EVALUACIÓN TECNOLÓGICA Y ECONÓMICA (GETE) Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System. Approved and accepted in April. 2005a
- IPCC & GETE. Resumen Informe especial sobre la protección de la capa de ozono y el sistema climático mundial: Cuestiones relativas a los hidrofluorocarbonos y a los perfluorocarbonos. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 2005b
- MILLÁN, Andrea & HILARIÓN, Helen. Proyecto de investigación: Chatarrización de neveras de uso doméstico en Colombia. Universidad de Los Andes, Universidad Nacional de Colombia y Unidad Técnica de Ozono. Bogotá DC. 2003
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL (MAVDT), UNIDAD TÉCNICA DE OZONO (UTO) Y PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD). Diagnostico del Sector de refrigeración en Colombia. Bogotá DC. 2004a

- MAVDT, UTO Y PNUD. Manual de Buenas Practicas en el sector de servicio y mantenimiento de equipos de refrigeración y aire acondicionado. Bogotá DC.2004b
- MAVDT, UTO Y PNUD. 10 Años de la implementación del Protocolo de Montreal en Colombia. Bogotá DC. 2004c
- MAVDT, UTO Y PNUD. Cartilla Ozono. Segunda edición, Bogotá DC, septiembre de 2003
- MAVDT, GRUPO DE MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO. Guía básica: Cambio climático, Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, Protocolo de Kyoto y Mecanismos de Desarrollo Limpio. Bogotá DC. Septiembre de 2004.
- MAVDT. Resolución número 0453 de abril 27 de 2004 *“Por la cual se adoptan los principios, requisitos y criterios y se establece el procedimiento para la Aprobación Nacional de proyectos de reducción de emisiones de gases efecto invernadero que optan al Mecanismo de Desarrollo Limpio- MDL”*
- OFICINA TÉCNICA DE OZONO (OTOZ). Manual de buenas prácticas en refrigeración. La Habana, Cuba, 2002.
- PNUMA, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE. Manual Nacional para la capacitación en el control del comercio de sustancias agotadoras de la capa de ozono. Colombia, 2003
- TANNER, Susan. Alternativas sin fluorocarbonos, punto de vista. Acción Ozono, suplemento especial No 2. PNUMA. Octubre de 1994.
- Atsuhiro Yabu, Yasuto Iseki, Katsumi Fujisaki. Fitting separation technology to market demand. Recycling Business Development Office, Mitsubishi Electric Corporation. (Citado por Millán & Hilarión, 2003)

## **FUENTES DE ARTICULOS**

- BRAATHEN, Geir. (2005, 16 de septiembre). El agujero de la capa de ozono sobre la Antártica se acerca a máximos históricos alcanzados. EL TIEMPO.
- Instituto alemán Max Planck. (2005, 25 de septiembre). Grandes cambios climáticos trascurrirán más rápido de lo normal en este siglo. EL TIEMPO.
- ZARUR, Kesmira & PATIÑO, Enrique. (2005, 13 de febrero). El miércoles, día clave para pacto de Kyoto. EL TIEMPO



## FUENTES DE INTERNET

- [http://www.medioambiente.gov.ar/documentos/promocion/taller\\_ozono\\_cambi\\_olimitico/agotamiento\\_ozono.pdf](http://www.medioambiente.gov.ar/documentos/promocion/taller_ozono_cambi_olimitico/agotamiento_ozono.pdf). Recuperado el 12 de octubre de 2005
- <http://www.mct.gov.br/clima/espan/convencao/oque.htm>. Recuperado el 12 de octubre de 2005
- Pág. Web IDEAM (1)  
<http://www.ideam.gov.co/sectores/ozono/estratosferico1.htm>. Recuperado el 9 de noviembre de 2005
- Pág. Web IDEAM (2)  
<http://www.IDEAM.gov.co>. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002. (Twenty questions and answers about the ozone layer. OMM. 2002.). Recuperado el 9 de noviembre de 2005
- Pág. Web EPA (1) [http://www.epa.gov/ozone/science/sc\\_fact.html](http://www.epa.gov/ozone/science/sc_fact.html). Recuperado el 24 de noviembre de 2005
- Pág. Web EPA (2)  
<http://yosemite.epa.gov/oar/globalwarming.nsf/content/climate.html>. Recuperado el 24 de noviembre de 2005
- <http://www.cordelim.net/cordelim.php?c=418>. Recuperado el 7 de enero de 2006
- Base de Datos de Comercio Exterior (BACE). <http://www.mincomercio.com.co>. Recuperado el 17, 24 y 28 de marzo de 2006.