

INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES SOCIOECONÓMICAS Y GEOGRÁFICAS EN LA
APLICACIÓN DE POLÍTICAS ENERGÉTICAS PARA LA SUSTITUCIÓN DE
REFRIGERADORES DOMÉSTICOS

NELSON GUSTAVO JARA COBOS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA DE MEDELLÍN
ESCUELA DE INGENIERÍAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ÁREA SISTEMAS ENERGÉTICOS
MEDELLÍN

2015

INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES SOCIOECONÓMICAS Y GEOGRÁFICAS EN LA
APLICACIÓN DE POLÍTICAS ENERGÉTICAS PARA LA SUSTITUCIÓN DE
REFRIGERADORES DOMÉSTICOS

NELSON GUSTAVO JARA COBOS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA DE MEDELLÍN
ESCUELA DE INGENIERÍAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ÁREA SISTEMAS ENERGÉTICOS
MEDELLÍN
2015

INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES SOCIOECONÓMICAS Y GEOGRÁFICAS EN LA
APLICACIÓN DE POLÍTICAS ENERGÉTICAS PARA LA SUSTITUCIÓN DE
REFRIGERADORES DOMÉSTICOS

NELSON GUSTAVO JARA COBOS

Trabajo de grado para optar al título de maestría en ingeniería con énfasis en sistemas
energéticos

Director

CÉSAR ALEJANDRO ISAZA ROLDÁN

I.M., Ph.D.

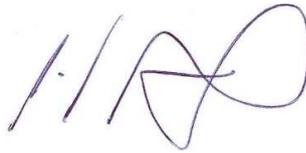
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA DE MEDELLÍN
ESCUELA DE INGENIERÍAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ÁREA SISTEMAS ENERGÉTICOS
MEDELLÍN

2015

15 de marzo del 2015

Yo, Nelson Gustavo Jara Cobos

“Declaro que esta tesis (o trabajo de grado) no ha sido presentada para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad” Art 82 Régimen Discente de Formación Avanzada.

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping loops and lines, positioned above a horizontal line.

Firma

DEDICATORIA

Todo el esfuerzo y trabajo desplegado en el desarrollo de este proyecto, dedico de todo corazón a las personas que son el motor de mi vida.

A mi esposa Taty

A mis hijas Verónica y Sofía.

AGRADECIMIENTOS

Por el presente trabajo de tesis en primera instancia me gustaría agradecer a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado

A mi **esposa Taty** por todo el apoyo que me ha brindado y sobre todo por soportar el abandono que este trabajo ha demandado.

A la **Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín** por darme la oportunidad de estudiar el posgrado.

A mi director de tesis, **Dr. Cesar Alejandro Isaza Roldán** por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda concluir con este trabajo con éxito.

También me gustaría agradecer a mis profesores durante este proceso de formación porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación, y en especial al **Dr. Luciano Gallón y a la Dra. Diana Giraldo** por sus consejos, su enseñanza y más que todo por su amistad.

Y por último a la **Universidad Politécnica Salesiana**, en su representación el **Padre Javier Herrán Rector y el Econ. César Vásquez** Vicerrector de la Sede Cuenca quienes siempre estuvieron apoyando para el desarrollo de mis estudios de posgrado.

Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.

CONTENIDO

GLOSARIO	1
RESUMEN	3
INTRODUCCIÓN	5
CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO – ANTECEDENTES	9
1.1 PROGRAMAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN COLOMBIA	9
1.1.1 Antecedentes.....	9
1.1.2 Realidad Energética de Colombia.....	11
1.1.3 Proyección de la demanda de energía eléctrica en Colombia [4].	13
1.1.4 Situación económica y PIB de Colombia	15
1.2 PROGRAMA DE USO RACIONAL Y EFICIENTE DE ENERGÍA [1]	15
1.2.1 Subprograma Residencial: Uso eficiente de energía en equipos de refrigeración y aire acondicionado doméstico [1].	17
1.2.2 Proyecto piloto “Cambia tu nevera”.....	19
1.2.3 Metas del PROURE	20
1.3 EFICIENCIA ENERGÉTICA	20
1.3.1 Indicadores de Eficiencia Energética.....	21
1.3.2 Propuesta de indicadores nacionales de uso de energía	22
1.3.3 Evaluación de las políticas y programas de eficiencia energética.	24
1.3.4 Estándares Mínimos de Eficiencia Energética.....	24
CAPITULO 2: DINÁMICA DE SISTEMAS	27
2.1 Introducción	27
2.2 Diagrama causal de lazo	29
2.3 Diagramas de Niveles y Flujos	29
2.4 Propiedades de la Dinámica de Sistemas	30
2.4.1 Bucles de retroalimentación	30
2.4.2 Retardos.....	30
2.4.3 No linealidades y bucles dominantes	30

2.4.4	Complejidad Dinámica	30
2.4.5	Los Arquetipos.....	31
2.4.6	Modelización de Variables Soft.....	31
2.4.7	Experimentación	32
CAPITULO 3:	VARIABLES DEL MODELO.....	34
3.1	Variables Demográficas.....	34
3.2	Variable de Pisos térmicos	35
3.3	Variable de Porcentaje de Penetración de Refrigeradores Domésticos en Colombia.....	37
3.4	Variable de consumo de energía eléctrica de refrigeradores domésticos ...	40
3.5	Factor de emisión de CO2.....	43
3.6	Factor adicionales considerados en el modelo	43
3.6.1	Factor de selección para la aplicación del plan de renovación	43
3.6.2	Tasa de descalificados.....	43
3.6.3	Factor de hogares nuevos formados en Colombia	44
3.6.4	Factor de decisión de compra de refrigerador por hogares nuevos	44
3.6.5	Factor de refrigeradores nuevos por hogares nuevos	44
3.6.6	Factor de publicidad del estado para adquirir refrigeradores nuevos (renovación voluntaria)	44
3.6.7	Factor de paso por años de vida útil de un refrigerador	45
3.6.8	Factor de daño de un refrigerador por grupo de vida útil.....	45
3.6.9	Probabilidad de reparación y probabilidad de daño severo.....	45
3.6.10	Porcentaje de existencia de refrigeradores por grupo de vida útil en los hogares colombianos	46
3.6.11	Valor de consumo de energía eléctrica por grupo de vida útil del refrigerador	46
CAPITULO 4:	MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS.....	49
4.1	Estructura del Modelo.....	49
4.1.1	Simplificaciones, supuestos y límites del modelo	49
4.2	Diagramas causales	54
4.2.1	Diagrama causal del módulo de refrigeradores nuevos adquiridos.....	54

4.2.2	Diagrama causal del módulo de vida útil de los refrigeradores.	54
4.2.3	Diagrama causal del módulo de consumo de energía eléctrica de los refrigeradores.	55
4.2.4	Diagrama causal del módulo de pisos térmicos.	55
4.3	Resultados de la simulación – Situación actual.	60
CAPITULO 5: ANALISIS DE RESULTADOS - ESCENARIOS.		70
5.1	Escenarios	70
5.2	Análisis de debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades de los escenarios planteados frente a los beneficios que se pueden conseguir en el consumo de energía eléctrica.	70
5.3	Resultados de la simulación considerando los escenarios.	73
5.3.1	Escenario 2 (E2).	73
5.3.2	Escenario 3 (E3).	77
5.3.3	Escenario 4 (E4).	81
CAPITULO 6: CONCLUSIONES		84
ANEXO A: ESTÁNDARES MÍNIMOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.		92
	Experiencia de MEPS desarrollada en Chile.	93
	Experiencia de MEPS en la Unión Europea	97
	Experiencia de MEPS en Estados Unidos y Canadá.	98
	Experiencia de MEPS en China.	100
	Experiencia de MEPS en Australia y Nueva Zelanda.	100
	Experiencia de MEPS en Argentina.	101
	Experiencia de MEPS en México.	102
	Experiencia de MEPS en Brasil.	103
	Experiencia de MEPS en Perú.	104
ANEXO B: ARQUETIPOS		105
	Límites del Crecimiento.	105
	Desplazamiento de la Carga.	105
	Erosión de Metas.	106
	Escalación.	107
	El Éxito para el Exitoso.	107

Tragedia de los Comunes.....	108
Arreglos que Fallan.....	109
Crecimiento y la Falta de Inversión.	109
Adversarios Accidentales.....	110
Principio de Atracción.....	111

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Consumo final de energía en Colombia al 2012 – Fuente [25]	10
Figura 1.2 Actualización del estudio de caracterización de consumos de energía en el sector residencial de Colombia al año 2012 [27].	12
Figura 1.3 Demanda histórica de energía eléctrica en Colombia [4].....	13
Figura 1.4 Evolución del número de usuarios de energía eléctrica en Colombia [4].....	14
Figura 1.5 Escenarios de proyección de demanda nacional de energía eléctrica [4].....	14
Figura 1.6 Consumo de energía neta residencial por habitante total en América Latina y el Caribe y Países con PIB (Per cápita menor a 2 000 US\$/habitante) [3].....	23
Figura 1.7 Consumo de electricidad residencial por habitante total en América Latina y el Caribe y Países con PIB (Per cápita menor a 2 000 US\$/habitante) [3].....	23
Figura 2.1 Bucle de realimentación positiva y negativa. Fuente: Autor	29
Figura 2.2 Diagrama de nivel y flujos. Fuente: Autor.....	29
Figura 3.1 Pisos térmicos en Colombia [69].	35
Figura 3.2 Evolución de la penetración de neveras en Colombia [68].	38
Figura 3.3 Consumo aparente de neveras entre 1975 y 2014 acumulado [68].	39
Figura 3.4 Penetración de refrigeradores domésticos en Colombia al año 2023, Fuente: Autor.....	40
Figura 3.5 Valor de consumo eléctrico de un refrigerador de 0 a 5 años de vida útil Grupo A. Fuente: Autor.	47
Figura 3.6 Valor de consumo eléctrico de un refrigerador de 6 a 10 años de vida útil. Grupo B. Fuente: Autor.....	47
Figura 3.7 Valor de consumo eléctrico de un refrigerador de 11 a 15 años de vida útil. Grupo C. Fuente: Autor.	47
Figura 3.8 Valor de consumo eléctrico de un refrigerador de 16 a 20 años de vida útil. Grupo D. Fuente: Autor.	48
Figura 3.9 Valor de consumo eléctrico de un refrigerador de 21 a 25 años de vida útil. Grupo E. Fuente: Autor.....	48
Figura 4.1 Diagrama causal que determina la cantidad de refrigeradores nuevos adquiridos. Fuente: Autor	56
Figura 4.2 Diagrama causal que determina la cantidad de refrigeradores por grupo de vida útil. Fuente: Autor	57
Figura 4.3 Diagrama causal que determina el consumo de energía eléctrica de los refrigeradores. Fuente: Autor	58
Figura 4.4 Diagrama causal que determina el consumo de energía eléctrica por piso térmico. Fuente: Autor	59
Figura 4.5 Aplicaciones Planificadas Plan de Renovación. Fuente: Autor	60

Figura 4.6 Refrigeradores nuevos por beneficiarios del plan. Fuente: Autor	61
Figura 4.7 Refrigeradores nuevos adquiridos por hogares nuevos formados. Fuente: Autor	62
Figura 4.8 Refrigeradores nuevos adquiridos por publicidad motivacional del estado. Fuente: Autor	62
Figura 4.9 Refrigeradores nuevos adquiridos por publicidad, plan y hogares nuevos. Fuente: Autor	63
Figura 4.10 Evolución de la penetración de refrigeradores en Colombia. Fuente: Autor...	63
Figura 4.11 Refrigeradores existentes en los hogares colombianos. Fuente: Autor	64
Figura 4.12 Refrigeradores grupo A de 0 a 5 años. Fuente: Autor.....	64
Figura 4.13 Refrigeradores grupo B de 6 a 10 años. Fuente: Autor	65
Figura 4.14 Refrigeradores grupo C de 11 a 15 años. Fuente: Autor	65
Figura 4.15 Refrigeradores grupo D de 16 a 20 años. Fuente: Autor	66
Figura 4.16 Refrigeradores grupo E de 21 a 25 años. Fuente: Autor	66
Figura 4.17 Refrigeradores potenciales para chatarrización. Fuente: Autor	67
Figura 4.18 Factor de corrección de consumo de energía eléctrica por pisos térmicos. Fuente: Autor	67
Figura 4.19 Consumo de energía eléctrica por uso de refrigeradores ineficientes. Fuente: Autor	68
Figura 4.20 Consumo de energía eléctrica por uso de refrigeradores eficientes. Fuente: Autor	68
Figura 4.21 Emisiones totales de CO2 por energía consumida por el uso de refrigeradores. Fuente: Autor	69
Figura 5.1 Refrigeradores nuevos adquiridos por publicidad motivacional del estado - E2. Fuente Autor	73
Figura 5.2 Refrigeradores nuevos adquiridos por publicidad, plan y hogares nuevos E2. Fuente: Autor	74
Figura 5.3 Refrigeradores grupo A de 0 a 5 años - E2. Fuente: Autor.....	74
Figura 5.4 Refrigeradores grupo B de 6 a 10 años – E2. Fuente: Autor.....	75
Figura 5.5 Refrigeradores grupo C de 11a 15 años - E2. Fuente: Autor	75
Figura 5.6 Refrigeradores grupo D de 16 a 20 años - E2. Fuente: Autor	76
Figura 5.7 Refrigeradores grupo E de 21 a 25 años - E2. Fuente: Autor	76
Figura 5.8 Consumo de energía eléctrica por uso de refrigeradores. Fuente: Autor.....	77
Figura 5.9 Refrigeradores nuevos adquiridos por publicidad motivacional del estado – E3. Fuente: Autor	77
Figura 5.10 Refrigeradores nuevos adquiridos por publicidad, plan y hogares nuevos - E3. Fuente: Autor	78
Figura 5.11 Total de refrigeradores nuevos adquiridos en el período analizado - E3. Fuente: Autor	78
Figura 5.12 Refrigeradores grupo A de 0 a5 años - E3. Fuente: Autor.....	79
Figura 5.13 Refrigeradores grupo B de 6 a 10 años - E3. Fuente: Autor	79

Figura 5.14 Refrigeradores grupo C de 11 a 15 años – E3. Fuente: Autor	80
Figura 5.15 Refrigeradores grupo D de 16 a 20 años - E3. Fuente: Autor	80
Figura 5.16 Refrigeradores grupo E de 21 a 25 años - E3. Fuente: Autor. Fuente: Autor.	81
Figura 5.17 Consumo de energía eléctrica por uso de refrigeradores ineficientes - E3. Fuente: Autor	81
Figura 5.18 Refrigeradores adquiridos por publicidad motivacional del estado - E4. Fuente: Autor	82
Figura 5.19 Refrigeradores nuevos adquiridos por publicidad, plan y hogares nuevos - E4. Fuente: Autor	82
Figura 5.20 Total de refrigeradores nuevos adquiridos en el período analizado. Fuente: Autor	83
Figura 5.21 Factor de corrección de consumo de energía eléctrico de refrigeradores en Colombia por piso térmico. Fuente: Autor.....	83
Figura A.1 Eficiencia ponderada de venta en diferentes escenarios de política [74].	95
Figura A.2 Precio de venta al por menor ponderado en diferentes escenarios de política [74].....	96
Figura A.3 Refrigeradores-Congeladores Ventas Pronóstico para 2030 [74].	96
Figura B.1 Arquetipo límites de crecimiento [66].....	105
Figura B.2 Arquetipo Desplazamiento de la carga [66].	106
Figura B.3 Arquetipo erosión de metas [66].	106
Figura B.4 Arquetipo Escalación [66].	107
Figura B.5 Arquetipo del éxito para el exitoso [66].	108
Figura B.6 Arquetipo Tragedia de los comunes [66].....	109
Figura B.7 Arquetipo Arreglos que Fallan [66].	109
Figura B.8 Arquetipo Crecimiento y la Falta de Inversión [66].....	110
Figura B.9 Arquetipo Adversarios Accidentales [66].....	110
Figura B.10 Arquetipo Principio de Atracción [66].	111

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-1 Consumo de energía mensual para una vivienda típica – año 2010 [28].	12
Tabla 1-2 Capacidad efectiva neta promedio por tecnología [29].	13
Tabla 1-3 Potenciales de ahorro de energía eléctrica a 2015 estimados por la UPME [1].	18
Tabla 1-4 Indicadores base de eficiencia en el sector residencial [1].	18
Tabla 1-5 Potenciales metas de ahorro a 2015 – Plan de acción del PROURE [29].	20
Tabla 1-6 Rango de eficiencia energética [39].	26
Tabla 3-1 Las 10 aglomeraciones más grandes de Colombia [68].	34
Tabla 3-2 Promedio de personas por hogar en Colombia - año 2013 Fuente: DANE.	35
Tabla 3-3 Listado de las Ciudades más Habitadas en Colombia – Clima. Fuente: Autor.	36
Tabla 3-4 Municipios más poblados en Colombia y su ubicación por piso térmico Fuente: Autor.	37
Tabla 3-5 Distribución de los hogares en Colombia según conexiones de energía [68].	38
Tabla 3-6 Refrigeradores existentes en Colombia. Fuente: DANE.	39
Tabla 3-7 Consumo de energía eléctrica por años de uso, para refrigeradores de 24,5 pie ³ (693 litros) y más. Adaptado de [70].	40
Tabla 3-8 Consumo energético de refrigeradores, congeladores y refrigeradores/congeladores Sun Frost [70].	42
Tabla 3-9 Número de personas por grupo de edad al 2013 en Colombia Fuente: DANE	44
Tabla 3-10 Factor de daño de un refrigerador por vida útil. Fuente: Autor	45
Tabla 3-11 Porcentaje de existencia de refrigeradores en los hogares colombianos por vida útil. Fuente: Autor	46
Tabla 4-1 Variables endógenas y exógenas establecidas en el modelo – pantalla 1. Fuente: Autor	50
Tabla 4-2 Variables endógenas y exógenas establecidas en el modelo – pantalla 2. Fuente: Autor	51
Tabla 4-3 Variables endógenas y exógenas establecidas en el modelo – pantalla 3. Fuente: Autor	52
Tabla 4-4 Variables endógenas y exógenas establecidas en el modelo – pantalla 4. Fuente: Autor	53
Tabla A-1 Clases de Eficiencia Energética [39].	92
Tabla A-2 Clases de Eficiencia Energética de A a G [39].	93
Tabla A-3 Programas implementados en Chile [74].	93
Tabla A-4 UEC promedio e EEI por categoría de etiquetado [74].	94
Tabla A-5 Precios medios de venta de los refrigeradores en Chile para el 2010 [74].	94
Tabla A-6 Pronóstico de la participación del mercado en eficiencia [74].	95
Tabla A-7 Resultados del costo del ciclo de vida y Período de Recuperación [74].	96
Tabla A-8 Conclusión del estudio en términos de potencial de ahorro energético [74].	97

Tabla A-9 Conclusión del estudio en términos de costos [74].	97
Tabla A-10 Criterio de diseño ecológico [74].	97
Tabla A-11 Programa de etiquetado Europeo, definido a partir de septiembre de 2010 [74].	98
Tabla A-12 Definición de estándar eficiencia energética en Canadá y Estados Unidos [39].	99
Tabla A-13 Factores para cálculo del estándar mínimo de rendimiento energético [39].	101
Tabla A-14 Límites de consumo energético [39].	102
Tabla A-15 Niveles de consumo eléctricos máximos en refrigeradores año 2007 [39].	103
Tabla A-16 Niveles máximos de consumo (C/Cp) que se establecen para refrigeradores y congeladores, año 2011 [39].	104
Tabla A-17 Estándar mínimo de eficiencia energética, propuesto en Perú, año 2009 [39].	104

GLOSARIO

Intensidad energética: es un indicador de la eficiencia energética de una economía. Se calcula como la relación entre el consumo energético (E) y el producto interior bruto (PIB) de un país:

- **Intensidad energética elevada:** indica un coste alto en la "conversión" de energía en riqueza (se trata de una economía energéticamente voraz). Se consume mucha energía obteniendo un PIB bajo.
- **Intensidad energética baja:** indica un coste bajo. Se consume poca energía, obteniendo un PIB alto.

Indicador es una medición cuantitativa de variables o condiciones determinadas, a través de la cual es posible entender o explicar una realidad o un fenómeno en particular y su evolución en el tiempo. Esta definición parte de reconocer que los procesos y sus relaciones son cambiantes en el tiempo y que es posible observarlos y determinar su evolución.

Eficiencia energética en la etiqueta de refrigeradores: es el índice de clasificación respecto de la eficacia de consumo de un refrigerador, en relación a la calidad de servicio para la cual fue diseñado. Es decir, es la relación entre el consumo real en pruebas de laboratorios del refrigerador versus el consumo teórico en base a una determinada cantidad de parámetros técnicos del equipo.

Las **variables endógenas**, que son las que creemos que de alguna manera se pueden controlar o estimar su probabilidad de ocurrencia, se genera en el interior de una cosa (si tengo varios años trabajando, puedo creer que no seré despedido y por lo tanto tomaré un préstamo. Si corro 5 kilómetros diarios, puedo pensar que terminaré una media maratón – estas son proyecciones fácilmente predecibles).

Las **variables exógenas** las cuales escapan del control del operador, es algo originado en el exterior de una cosa (muchas veces actúan en nuestra contra y no se puede estimar su probabilidad de ocurrencia - doblarse un pie en la carrera, que la empresa pierda un cliente importante y deba despedir trabajadores).

Racionalidad limitada se refiere al proceso de decisión de un individuo considerando limitaciones cognitivas tanto de conocimiento como de capacidad computacional - la racionalidad personal está limitada por tres dimensiones: 1) la información disponible, 2) la limitación cognoscitiva de la mente individual y 3) el tiempo disponible para tomar la decisión.

Los **clorofluorocarbonos – CFCs** son derivados de los hidrocarburos saturados obtenidos mediante la sustitución de átomos de hidrógeno por átomos de flúor y/o cloro especialmente, se emplean en diversas aplicaciones, principalmente en la industria de la refrigeración, su característica de persistencia en la atmósfera de 50 a 100 años alcanzan

la estratosfera, donde se disocian por acción de la radiación ultravioleta, liberando el cloro y dando comienzo al proceso de destrucción de la capa ozono.

Los **hidroclorofluorocarbonos - HCFCs** son compuestos formados por átomos de cloro, flúor, hidrogeno y carbono. A pesar de que también son sustancias que agotan la capa de ozono, son menos potentes en su destrucción en comparación con los CFCs, por esta razón fueron introducidos como sustitutos temporales de los CFCs.

Los **hidrofluorocarbonos – HFC** son compuestos formados por átomos de hidrógeno, flúor y carbono. Al estar compuestos por átomos de flúor, los cuales no catalizan en la destrucción del ozono, se han convertido en sustitutos favoritos de los CFC, sin embargo se han identificado como gases que causan el calentamiento global, por lo que su uso debería de ser regulado y en la medida de las posibilidades deberían de ser reemplazadas por otras que sean amigables con el ambiente.

RESUMEN

De acuerdo a lo que se establece en el “Programa de uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes no Convencionales – PROURE”, como plan de acción 2010 – 2020 [1], Colombia, ha implementado distintos programas de eficiencia energética, dirigidos a diferentes sectores de la economía, de los cuáles el subprograma aplicado al sector residencial: “Programa Nacional de Uso Eficiente de Energía en Equipos de Refrigeración Doméstico y Aire Acondicionado”, que considera varias políticas tales como la sustitución de refrigeradores domésticos de más de 10 años de uso, por refrigeradores nuevos de mayor eficiencia. Este programa ha sido evaluado para determinar el impacto que tendrá en la reducción del consumo de energía eléctrica y en consecuencia en las emisiones de carbono [2], mediante un modelo de simulación basado en la metodología de dinámica de sistemas. Los resultados indican que las políticas planteadas han aportado a reducir el consumo de electricidad y las emisiones de carbono.

Para dar continuidad al estudio mencionado en el párrafo anterior, en esta tesis de Master se desarrollará un modelo de simulación usando el enfoque de dinámica de sistemas. El modelo para evaluar el plan de sustitución de refrigeradores domésticos que considere, el tamaño y conformación de la estructura económica, la distribución poblacional, y sobre todo aspectos climáticos que determinan una diferencia sustancial en el consumo eléctrico de los refrigeradores de acuerdo a las condiciones climáticas de cada uno de los pisos térmicos en el que esté funcionando, se realizará con el software Vensim® PLE, mismo que se encuentra libre para uso académico y personal.

Por otro lado los diferentes estratos de la sociedad poseen diferentes patrones de uso de los refrigeradores, en términos de tamaño del equipo o tipo y cantidad de alimentos a almacenar. También deberá influir en los resultados el poder adquisitivo y la distribución de los refrigeradores a reemplazar en los diferentes estratos.

En la simulación el modelo presenta el resultado de distintas variables establecidas, como el total de refrigeradores nuevos ingresados en los hogares colombianos y el consumo de energía eléctrica por el uso de refrigeradores; todo esto analizado en cuatro escenarios políticos; los resultados para el escenario actual determinan un pico de 1.4 millones de refrigeradores para los años 2019 y 2020 y 1.15 millones de refrigeradores nuevos introducidos en Colombia para el año 2023. El valor de consumo de energía eléctrica por uso de neveras será para el 2023 de aproximadamente 22 TWh.

Para el escenario 2, el total de refrigeradores nuevos disminuye trascendentemente ya que no superan los 0.9 millones de refrigeradores nuevos en ningún año del período de análisis,

en cambio el consumo de energía eléctrica registra un incremento de aproximadamente 2 TWh, lo que representa un 10% más en relación al escenario actual.

Para el escenario 3 y 4 se llega a tener un pico de 0.5 y 0.35 millones de refrigeradores nuevos para el 2023 respectivamente, determinándose un incremento del consumo de energía eléctrica en un 20% y un 25% con respecto al escenario actual.

Se puede determinar un ahorro de energía eléctrica, en función del incremento de refrigeradores nuevos eficientes de hasta un 20% en relación a un escenario en donde no se establece planes de renovación o apoyos a la industria.

Por lo expuesto, este modelo podría ser usado en cualquiera de los países latinoamericanos, que poseen factores socioeconómicos y condiciones climáticas similares. Permitiendo determinar los impactos que tienen las políticas energéticas en aspectos como el ahorro de energía y otros que pueden influir en la sociedad positiva o negativamente. Ayudando a los gobiernos a establecer políticas acordes a las características propias de cada país.

INTRODUCCIÓN

Si se mira la historia de los pueblos se puede verificar que su crecimiento económico ha estado directamente relacionado al uso de los recursos energéticos, a mayor crecimiento mayor uso de recursos, sin embargo esta relación ha sufrido variaciones en los últimos años, debido fundamentalmente a la preocupación de los gobiernos por mejorar su sistema energético mediante la implementación de programas de eficiencia energética.

La OLADE en un estudio para América Latina y el Caribe, estima que el ahorro acumulado de energía resultante de la introducción de medidas de eficiencia energética relativamente blandas estarían entre el 3 y 5% [3], esto no significa que la calidad de vida de los pueblos haya disminuido.

La desvinculación del crecimiento económico y la demanda del uso de recursos energéticos, se produce en gran medida por la introducción de políticas de eficiencia energética motivadas por la escasez de recursos y el cuidado del medio ambiente, esto está llevando a la posible creación de un nuevo vínculo entre el crecimiento económico y la aplicación de políticas de eficiencia energética, que llevan a las naciones hacia el desarrollo sostenible.

Como se puede apreciar dos son las aristas que mantienen preocupación al mundo moderno, la escasez de recursos y el cuidado del medio ambiente.

En lo que respecta a la escasez de recursos, varios países en América Latina están en un proceso de cambio de su matriz energética, es así que como en el caso de Colombia en particular, se está tratando de disminuir drásticamente la generación de energía eléctrica mediante energía tradicional y contaminante, con la gestión e implementación de nuevos proyectos de energía eléctrica que utilicen energías renovables limpias y sustentables como la hidroeléctrica, solar, eólica, biomasa y geotérmica.

Esta preocupación está latente ya que la demanda de energía eléctrica es muy alta y por lo general crece en varios puntos porcentuales al año, es así que de acuerdo a la proyección de la demanda de energía eléctrica para Colombia [4], se estima que para el periodo comprendido entre los años 2012-2020 el crecimiento promedio anual de la demanda será del 3.9%, con un consumo aproximado para el 2020 de 75.000 GWh/año y para el 2030 de 105.000 GWh/año.

De estos valores la participación porcentual del consumo final de energía correspondiente al sector residencial llegó para el caso de Colombia en el año 2008 al 21.2% [1], representando un valor importante con respecto de los otras actividades económicas y productivas del país.

Uno de los equipos más utilizados a nivel mundial y a nivel residencial, es el refrigerador de uso doméstico, este es un artefacto que funciona de manera continua durante todo el año,

razón por la que representa en las cuentas eléctricas de los hogares un alto consumo de energía; consumo que está supeditado al estado del equipo, los años de funcionamiento, ubicación, etc.

De acuerdo a lo que establece Hermes y Melo [5], el consumo de energía de un refrigerador es cerca de 1 kWh/día, representando aproximadamente un 20% de consumo de energía eléctrica en hogares que facturan aproximadamente 150 kWh/mes. Sin embargo este valor varía drásticamente por varias razones, una de ellas se debe fundamentalmente a los componentes del sistema como el compresor, el condensador, el evaporador y el tubo capilar, ya que la mayor parte de energía es desperdiciada por estos elementos, debido a las pérdidas irreversibles que se generan [5], otra hace referencia al número de años de operación que tiene dicho equipo pudiendo llegar a consumir más de 100 kWh/mes, esto dependerá también de la capacidad del equipo.

En otros términos el efecto de la temperatura ambiente es la más grande influencia en el consumo de energía en los frigoríficos, pudiendo ocasionar consumos de energía que pueden llegar a un 300% del valor de la etiqueta energética [6]. Diferentes estudios han abordado el tema, principalmente en países cuyas condiciones climáticas está caracterizada por periodos estacionales [7]–[9] y de acuerdo a una revisión previa de la literatura no se ha encontrado trabajos que consideren condiciones climáticas estables durante todo el año en diferentes pisos térmicos, como es el caso de la algunos países de la región andina.

Por otro lado en lo que respecta al cuidado del medio ambiente, el uso de refrigerantes, como los CFC, HCFC, HFC contribuyen al agotamiento de la capa de ozono y el aumento en el calentamiento global

Hasta el año de 1995 los refrigerantes que se han utilizado en refrigeración doméstica, han sido los clorofluorocarbonos – CFCs; a través de los términos establecidos en el Protocolo de Montreal [10], se ha determinado que el uso de estos compuestos ocasionan el agotamiento de la capa ozono, por ello su producción fue controlada y limitada por etapas hasta el cese de la misma hasta el año 2000.

Los hidroclorofluorocarbonos – HCFCs y los hidrofluorocarbonos – HFCs aparecieron como sustitutos, sin embargo el Protocolo de Kioto [11], señala precisamente a los refrigerantes HFCs, como gases de “Efecto Invernadero”, y por lo tanto quedan sujetos a control sobre sus emisiones.

Los investigadores han tratado de sustituir a estos refrigerantes por refrigerantes que no contaminen, es así que varios estudios realizados en la última década establecen a los hidrocarburos (HC) como una alternativa [12]–[20], siendo estos refrigerantes naturales considerados como los refrigerantes ideales, amigables con el medio ambiente y la solución definitiva al problema del agotamiento del ozono y el calentamiento global [21], además de presentar una mejora en la eficiencia energética del refrigerador doméstico [22],

en definitiva los HC son la alternativa más prometedora para el reemplazo de los refrigerantes tradicionales contaminantes [23].

Sin embargo los refrigerantes hidrocarburos presentan problemas de seguridad, los cuales pueden limitar las posibilidades de una amplia utilización, si no se cumplen con ciertas consideraciones, en este sentido varias son las investigaciones en las que se analiza la seguridad y el peligro de inflamabilidad en caso de fugas. Se demostró que la concentración del HC en el aire (hasta 0,15kg) en una habitación estándar no es peligrosa por lo tanto tampoco lo es su uso como refrigerante, además que se han incorporado medidas de seguridad especiales [24], es por ello algunas empresas especialmente en Europa y Asia ya usan hidrocarburos como refrigerantes [15].

Esta tesis aborda, cómo el modelado dinámico puede ayudar a generar escenarios de perfiles futuros en lo que corresponda al incremento de refrigeradores domésticos eficientes, la determinación de refrigeradores existentes en los hogares colombianos por grupos de vida útil, el consumo de electricidad de acuerdo a la vida útil en la que se encuentre y el piso térmico en el que funcione.

Una herramienta de simulación independiente se introduce para describir el comportamiento a largo plazo (13 años), este se ha creado usando el enfoque de dinámica de sistemas y se hace utilizando el software libre Vensim® PLE.

La herramienta de análisis permite al usuario probar diferentes escenarios, tales como la introducción de un plan de refrigeradores domésticos eficientes con proyección de número, la ubicación por condiciones ambientales para cada piso térmico, la introducción de resoluciones o políticas de subsidio, cambios en el comportamiento a largo plazo de los consumidores por publicidad, reglamentos u otros, consumo de electricidad de los refrigeradores de acuerdo a vida útil en la que se encuentren. El modelo también podría aplicarse a cualquier realidad de país para analizar políticas de sustitución de refrigeradores domésticos.

La dinámica de sistemas permite nuevas formas de resolver problemas y comprender las entidades en el mundo complejo y en evolución. El propósito es apoyar en la toma de decisiones, ofreciendo una forma alternativa de resolver y comprender más profundamente los problemas cotidianos.

CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO – ANTECEDENTES

En este capítulo se establece una revisión del estado del arte en donde se determina datos históricos, actuales y de proyección de distintas variables que se involucran en el estudio, como el crecimiento poblacional, el número de hogares existentes, la capacidad energética instalada y el consumo de electricidad a nivel residencial. Además de una revisión de los estándares de eficiencia energética y las experiencias en la utilización de MEPS en distintos países del mundo, cumpliendo con lo establecido en el objetivo específico: “Realizar una revisión crítica del estado del arte que permita tomar elementos importantes y adoptarlos en el modelo que se va a proponer”.

1.1 PROGRAMAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN COLOMBIA

1.1.1 Antecedentes.

El continuo incremento del consumo de energía y la búsqueda de alternativas a un sistema económico mundial basado en combustibles fósiles son de entre las varias razones que motivaron y siguen motivando a los gobiernos de los países de Latinoamérica y el mundo a trabajar en programas de eficiencia energética.

Fuentes de análisis como la Agencia Internacional de la Energía IEA, el Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo EBRD, Latina América y el Caribe LAC y Países del norte de África y Oriente Medio MENA presentan algunos aspectos como la seguridad energética, el desarrollo económico, el cambio climático, la competitividad económica y la salud pública entre otras como motivadores que han impulsado a los gobiernos a implementar estrategias que lleven a conseguir eficiencia energética.

Para las cuatro fuentes de análisis citadas, la seguridad energética es el factor principal que ha incidido para que la eficiencia energética sea considerada en los planes de gobierno de muchos países [25].

Sobre este tema y específicamente en Colombia, con la ley 607 de 2001 se crea el programa de uso racional y eficiente de la energía y demás formas de energía no convencionales PROURE, estableciéndose como el inicio del trabajo en eficiencia energética en Colombia, luego de esto se adoptan metas ambientales establecidas en el decreto presidencial 2532 de 2001, el decreto 3172 del 2003 y el decreto 2501 del 2007 [26].

El Ministerio de Minas y Energía expidió la resolución 180919 de junio de 2010 en la que se adopta el plan de acción indicativo 2010-2015 para desarrollar el programa de uso racional y eficiente de la energía y demás formas de energía no convencionales, por último en la resolución 0186 de 2012 en donde se adopta como metas ambientales, varias metas

de ahorro y eficiencia energética como por ejemplo una meta establecida de ahorro de energía eléctrica en el sector industrial del 3.43% al 2015.

En la ley 1715 se promueve el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía (principalmente las renovables) en el sistema energético nacional, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético, además de promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda.

En lo que respecta al consumo de energía en Colombia el mayor consumidor de energía es el sector transporte el cuál ha crecido hasta 44% en 2012, mientras que en industria manufacturera ha decrecido hasta el 21%, en cambio el sector residencial ha sufrido una variación desde el 21% en el 2000, pasando por un 16% en 2004, un 22% en 2008, estableciéndose un 19% en 2012 con 206414 TJ de consumo final (figura 1.1).

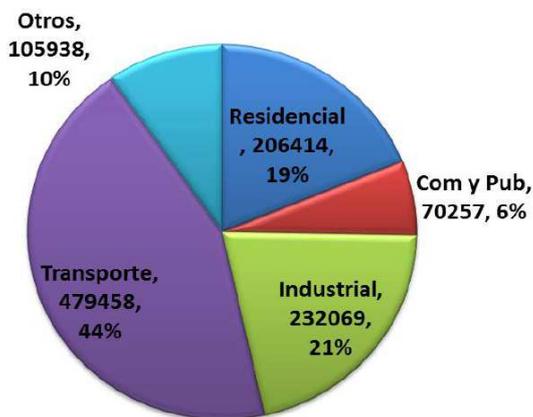


Figura 1.1 Consumo final de energía en Colombia al 2012 – Fuente [25]

En la resolución 180919 se establecen metas de ahorro en el consumo de electricidad de 14.75%, lo que representa un 2.26% de ahorro en el consumo final al 2015 [25].

Todos los sectores presentan sus características propias de consumo de energía, es así que en el caso específico de sector residencial se establece las siguientes características de consumo energético:

- Alto consumo de electricidad en refrigeración, equipos ineficientes y con fallas de funcionamiento
- Utilización de bombillas tipo incandescente de 60 y 100 W en algunos segmentos de la población (sector rural y ciudades o pueblos pequeños)
- Alto consumo de energía térmica –cocción y calentamiento de agua

Como acciones prioritarias en el sector residencial se ha establecido la promoción en el uso de refrigeradores, aires acondicionados y sistemas de iluminación eficientes y la promoción de la eficiencia energética en el diseño, la construcción y el uso de edificaciones.

Es así que se ha conseguido el cumplimiento del 2,16% de la meta por iluminación a 2012 y del 1,17% de la meta por refrigeración a 2012; marcando una proyección al 2020 de tener una reducción del 6% de la demanda de electricidad por actualización tecnológica y respuesta de la demanda en áreas urbanas, esto representaría una reducción en las emisiones de 564 mil toneladas de CO₂ [25].

1.1.2 Realidad Energética de Colombia

Para el año 2012 en Colombia se registró en el sector residencial aproximadamente doce millones de usuarios del servicio eléctrico en el Sistema Interconectado Nacional – SIN, determinándose un consumo de energía eléctrica correspondiente al sector residencial de entre 52.300 y 70.700 TJ por año en el periodo 2000-2010, esto significa un consumo entre el 39% y el 41% del consumo total. Por otro lado el sector comercial se ha mantenido alrededor del 22 y 25%, el sector industrial entre el 31% y 32% y el sector agropecuario y minero han consumido entre el 2.1% y el 3.7% [27].

La capacidad instalada por tipo de fuente del sistema de generación de energía eléctrica del país, en noviembre de 2008 alcanzaba los 13540 MW, con fuerte participación de la generación hidráulica, seguido por la generación térmica a gas natural y carbón.

Las fuentes no convencionales de energía en 2008 participan con 192,4 MW conectados al SIN, lo cual corresponde a 1,4% del total instalado, de los cuales 146 MW corresponde a pequeños aprovechamientos hidroeléctricos menores de 10MW, 26,9 MW corresponde a generación eléctrica con residuos de biomasa y 19.5 MW a generación eólica. Siendo un 67% por fuente hidráulica [1].

En Colombia existen 32 empresas de distribución de energía eléctrica y el costo promedio del kWh a nivel residencial está en el orden de los 346 pesos colombianos esto es 0.174 USD con un valor de cambio al dólar de 1990 pesos colombianos.

En el sector residencial, las viviendas con consumos inferiores a 400 kWh/mes, que representan el 80% del total residencial de Colombia, presentan un consumo significativo asociado a neveras que consumen entre 100 y 200 kWh/mes.

Dando soporte a estos datos, en la figura 1.2 se presenta la actualización del estudio de caracterización de consumos de energía en el sector residencial de Colombia al año 2012, en donde se puede observar que el 43,25% de la energía consumida en el sector residencial corresponden a la refrigeración.

En cambio para el caso de viviendas con consumos superiores a 400 kWh/mes, la utilización del aire acondicionado es lo que más pesa en el consumo, pudiendo significar hasta un 80%.

Colombia cuenta con más de 12 millones de hogares, de los cuales el 78% se ubican en zonas urbanas. De acuerdo con la información de consumo de energía reportada en el balance energético nacional del año 2009 (UPME, 2011), el 57% de la demanda del sector residencial fue generada por los hogares urbanos. Los hogares consumen el 40% de energía eléctrica, el 22% de gas natural, el 80% de GLP y leña del país. El sector residencial aporta el 5% de las emisiones de GEI del país por consumo de energía [28].

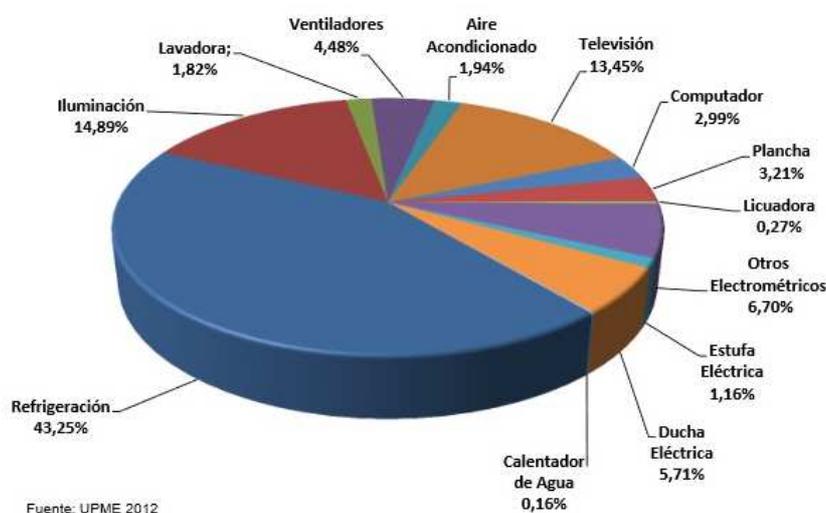


Figura 1.2 Actualización del estudio de caracterización de consumos de energía en el sector residencial de Colombia al año 2012 [27].

En la tabla 1.1 se presenta el consumo de energía para una vivienda promedio de cada piso térmico en el año base y en el caso de la refrigeración para un equipo nuevo y eficiente (de acuerdo al estudio se fija el año 2010).

Tabla 1-1 Consumo de energía mensual para una vivienda típica – año 2010 [28].

Uso	Zona cálida		Zona templada		Zona fría	
	kWh/mes	%	kWh/mes	%	kWh/mes	%
Iluminación	24	17	21	21,25	26	22,6
Refrigeración	37	26,25	21*	21,25	19*	16,5
Acondicionamiento de espacios (temperatura)	25	17,75	0,7	0,75		
Otros	55	39	56	56,25	70	60,9
Total	141	100	99	15	115	17

* Considerando que el consumo por refrigeración en zona templada es más alta que en la zona fría se realiza el ajuste correspondiente.

De acuerdo a lo que establece M. de la Ossa, en su estudio de demanda de energía, para el sector residencial urbano, desde el escenario inercial la demanda crece a una tasa anual equivalente del 1.9%, pasando de 114500 TJ en el año base (2010) hasta 203000 TJ en el 2040. En cuanto a las emisiones de CO2 así mismo crecen a una tasa de 1.9% anual.

En diciembre del año 2012 el Sistema Interconectado Nacional - SIN contaba con 14478 MW instalados, lo que representa un crecimiento del 47.11% respecto a la capacidad instalada del mes de diciembre del año 1993.

La capacidad efectiva neta promedio de 14360.7 MW, se distribuyen en plantas hidroeléctricas, termoeléctricas, plantas menores y cogeneradores [29], de acuerdo a como se establece en la tabla 1.2.

Tabla 1-2 Capacidad efectiva neta promedio por tecnología [29].

Tipo de planta generadora	Dic-11	Participación (%)	Dic-12	Participación (%)
Hidráulica	9185,0	64,2%	9185,0	64,0%
Térmica	4439,0	31,0%	4426,0	30,8%
Menores	635,1	4,4%	692,0	4,8%
Cogeneradores	55,2	0,4%	57,3	0,4%
Total Capacidad Efectiva Neta	14314,5	100%	14360,7	100%

1.1.3 Proyección de la demanda de energía eléctrica en Colombia [4].

En el año 2012, la demanda eléctrica nacional alcanzó una magnitud de 59367 GWh (ver figura 1.3).

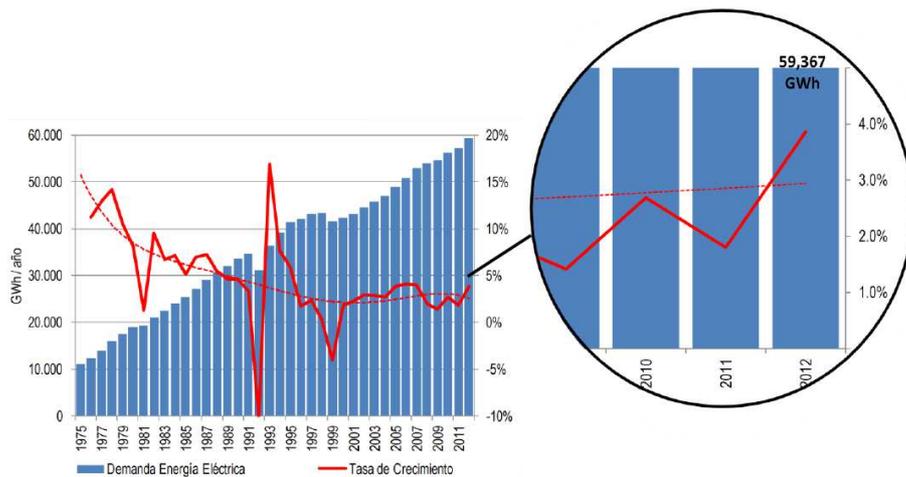


Figura 1.3 Demanda histórica de energía eléctrica en Colombia [4].

El número de usuarios del SIN, ha crecido en los últimos diez años con una tasa promedio anual del 4.7% alcanzando en el año 2012 aproximadamente 12.1 millones de usuarios (ver figura 1.4).

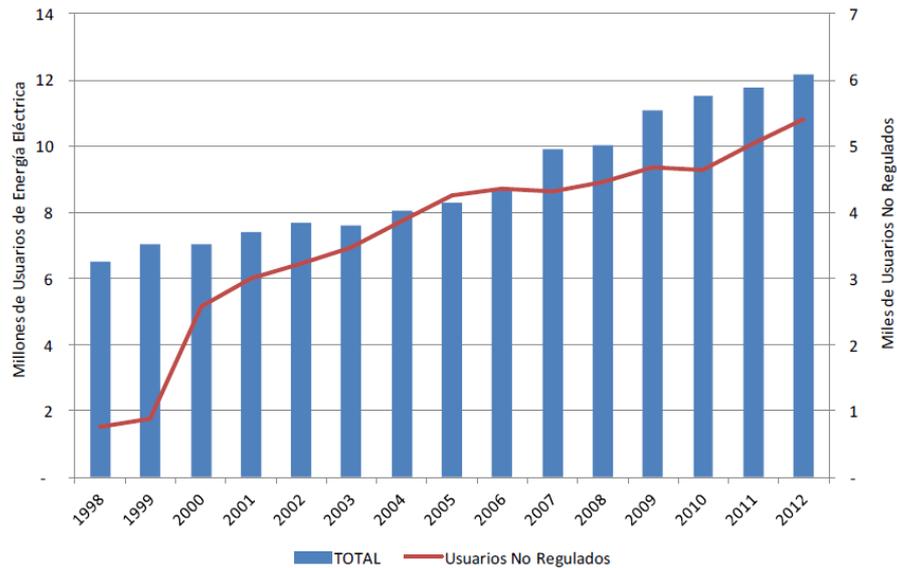


Figura 1.4 Evolución del número de usuarios de energía eléctrica en Colombia [4].

La población colombiana mantiene un crecimiento estimado al año 2012 de 1.2% y de acuerdo a las proyecciones se espera su reducción progresiva en las siguientes décadas. Con respecto al nivel de precios, se espera que en los próximos años la inflación se estabilice en una tasa del 3% anual.

En la figura 1.5 se presentan los tres escenarios de proyección de demanda de energía eléctrica para Colombia para las siguientes dos décadas.

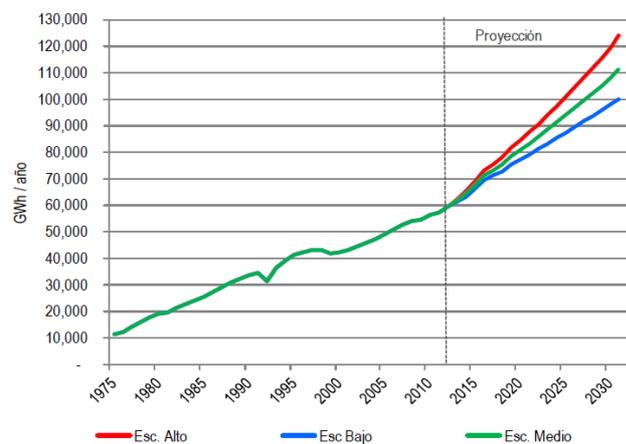


Figura 1.5 Escenarios de proyección de demanda nacional de energía eléctrica [4].

El escenario medio estima que en el periodo comprendido entre los años 2012 y 2020 se presentará un crecimiento promedio anual de la demanda de energía eléctrica del 3.9% y para los escenarios alto y bajo este promedio anual de demanda será del 4.5% y 3.4% respectivamente.

En cambio para la década de 2020 a 2030, en el escenario medio se estima un crecimiento anual promedio de 3.0% y para los escenarios alto y bajo de 3.6% y 2.4%.

Estos escenarios se pueden visualizar plenamente en el modelo desarrollado en este trabajo, ya que se considera una disminución del consumo de energía eléctrica únicamente para el escenario actual y escenario 2, los cuales incluyen como políticas el uso de subsidios para propender a la renovación de neveras, sin embargo en los escenarios 3 y 4 el consumo energético por uso de refrigeradores se incrementa aproximadamente en un 10 y 20% con respecto al uso de energía eléctrica en el país.

1.1.4 Situación económica y PIB de Colombia

La situación económica mundial en los últimos años ha presentado comportamientos de inestabilidad, las principales zonas económicas se vieron afectadas por la crisis, y apenas empiezan a mostrar una leve recuperación. Estados Unidos presentó un crecimiento cercano al 2.3% en 2012, mientras que la Zona Europea ha disminuido considerablemente, pasando de una tasa de 1.5% en 2011, a niveles por debajo del 0% en los últimos 2 trimestres de 2012. En cuanto a las principales economías asiáticas, se tienen que China redujo su crecimiento de 9.2% en 2011 a menos de 8%; Corea del Sur presenta una situación similar con un crecimiento de 3.6% en 2011, comparado con niveles de alrededor de 2% en la actualidad [29].

Para el caso de Colombia la economía ha logrado mantenerse a flote, con un crecimiento económico positivo, e incluso mayor al de otras economías importantes de Latinoamérica. De acuerdo con los resultados del Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE, el PIB creció 4.2% con respecto a 2011, este crecimiento es menor respecto al del año anterior, y se asocia con afectaciones por disminución de la producción industrial y la desaceleración del crecimiento de la actividad minera, que pasó de 14.6 % en el 2011 a 5.9% en 2012. En 2013 la cifra del PIB fue de 284918 M.€, con lo que Colombia es la economía número 31 en el ranking de los 183 países de los que se publica el PIB. El valor absoluto del PIB en Colombia creció 2727 M.€ respecto a 2012 [30].

Uno de los análisis que se hace para medir la productividad de un país, es la relación entre las tasas de crecimiento anual del PIB y la demanda de electricidad. Sin embargo, en situaciones de crisis económica o con influencia de factores atípicos, el efecto que tiene una variable sobre la otra se puede ver alterado.

1.2 PROGRAMA DE USO RACIONAL Y EFICIENTE DE ENERGÍA [1].

Las oportunidades que se tienen a partir de conseguir una eficiencia energética mediante la implementación de políticas que lleven a una reducción de pérdidas y sobre todo en

cambiar los hábitos de la población son trascendentales, ya que de no ser así se debería necesariamente acudir a la utilización de la tecnología, representando esto inversiones muy elevadas en equipos eficientes. Por otro lado si se incrementa la demanda de energía eléctrica, el país necesitaría invertir ingentes cantidades de dinero para construir plantas de generación que den respuesta a esa creciente demanda.

Con el programa de uso racional y eficiencia de energía se pretende principalmente la disminución de la intensidad energética, el mejoramiento de la eficiencia energética de los sectores de consumo y la promoción de las fuentes no convencionales de energía, en función de la identificación de los potenciales y la definición de metas por ahorro energético y participación de las fuentes y tecnologías no convencionales en la canasta energética del país.

Adicionalmente la disponibilidad de los recursos energéticos y el comportamiento de la demanda y su relación con la productividad de los sectores estratégicos, la intensidad energética, la calidad de vida de la ciudadanía y la disminución de los gases de efecto invernadero, se constituyen en elementos de política como propósito fundamental del PROURE.

Se han establecido como metas en eficiencia energética, al 2015 un potencial de ahorro de 13515 GWh (20.2%) y en consecuencia, de acuerdo con la ejecución del plan de acción se establece una meta de ahorro de 9900 GWh (14.8%). Dicha meta equivale a un ahorro de 2.26% sobre el total del consumo final de energéticos.

Dentro de este programa se ha establecido distintos subprogramas para cada uno de los sectores residencial, comercial e industrial de Colombia.

En el sector residencial se identifican cinco sub programas prioritarios:

1. Sustitución de bombillas
2. Uso eficiente de energía en equipos de refrigeración y aire acondicionado doméstico
3. Hornillas eficientes
4. Eficiencia energética en viviendas de interés social
5. GLP en el sector rural y zonas marginales

Haciendo énfasis al subprograma que hace referencia a la sustitución de neveras eficientes, este necesariamente debe considerar un plan de chatarrización de los equipos que sean reemplazados y también de los que al pasar de los años irán formando parte de aquel grupo de neveras con más de 25 años de vida útil.

En este sentido y de acuerdo con los estudios de caracterización del sector residencial [31], existen alrededor de **10 millones de neveras en el sector residencial urbano**; de éstas el 7,5% tienen edad superior a 10 años, el 14% tienen entre 6 y 10 años y el 52% tienen entre 2 y 5 años de uso.

En relación al mismo tema y de acuerdo a estudios realizados por la Unidad de Planeación Minero Energético (UPME) y la Unidad Técnico Ozono (UTO), en Colombia existen entre 3 y 4 millones de refrigeradores domésticos que fueron fabricados con CFCs y que aún están en uso [32], esto quiere decir que en el país existen aproximadamente un 22% de refrigeradores que se encuentran en edades de uso de 21 a 25 años y un 8% de más de 25 años.

1.2.1 Subprograma Residencial: Uso eficiente de energía en equipos de refrigeración y aire acondicionado doméstico [1].

El objetivo es diseñar y ejecutar estrategias graduales y complementarias que permitan mejorar el desempeño energético y reducir el impacto ambiental de los equipos de refrigeración y aire acondicionado de uso doméstico, teniendo como referencia los lineamientos de política ambiental y energética promovidos en la Comisión Intersectorial para el Uso Racional y Eficiente de la Energía y Fuentes No Convencionales de Energía, CIURE, considerando lo siguiente:

- Las neveras son responsables de entre el 20 y 50% del consumo de energía en hogares de los estratos 1, 2 y 3, se estima que estos estratos tienen en uso cerca de **cuatro millones de neveras producidas antes de 1997**, esto significa están en el grupo de 21 a 25 años de vida útil. En un escenario de 10 años, los ahorros de energía por año se estiman en 2441 GWh.
- Protección de la Capa de Ozono: refrigerante y/o como aislante térmico (espuma).
- Cambio Climático: las sustancias tipo CFC, HCFC y HFC utilizadas como refrigerante y/o aislante térmico, son potentes gases de efecto invernadero, en un escenario de 10 años, la reducción de emisiones de CO₂ acumulada es del orden de 9 millones de Toneladas.
- Gestión post-consumo.

1.2.1.1 Acciones a implementar

Se han establecido 9 acciones a fin lograr la implementación del subprograma en lo que respecta a la sustitución de neveras eficientes, tales como la estructuración del proyecto, gestión de recursos, establecimiento de aspectos técnicos, acuerdos con la industria y distribuidores, etc.

En lo que respecta a costos, la UPME estimó una inversión de 1540 millones de dólares en 10 años a fin de ejecutar el proyecto de sustitución, con alcance de 4000000 de neveras; se estima una inversión de 770 millones de dólares y un reemplazo de 2000000 de neveras al 2015.

1.2.1.2 Metas Finales en Eficiencia Energética

En 2008 el consumo final de energía eléctrica fue de 37.079 Tcal o 43.116 GWh, lo cual corresponde al 15,3% del consumo final de energía. Al 2015 la UPME estima un consumo

de energía eléctrica de 66.906 GWh y un potencial de ahorro de 13.515 GWh (20.2%) y en consecuencia, de acuerdo con la ejecución del plan de acción se establece una meta de ahorro de 9.900 GWh (14.8%). Dicha meta equivale a un ahorro de 2,26% sobre el total del consumo final de energéticos, si se mantiene la participación del 15,3% de energía eléctrica en 2015 [1].

Las estimaciones establecidas han sido obtenidas en función del planteamiento de escenarios como se observa en la tabla 1.3 y 1.4 se presentan los indicadores base de eficiencia en el sector residencial, los cuales deberán ser evaluados cada 5 años, con el fin de ajustar los potenciales y las metas correspondientes.

Será necesario crear en los próximos cinco años nuevos indicadores sustentados en la caracterización y medición de los diferentes sectores de consumo, para incorporar nuevas variables de seguimiento y control para el programa.

Tabla 1-3 Potenciales de ahorro de energía eléctrica a 2015 estimados por la UPME [1].

Sector	Potencial de ahorro de energía	Meta de ahorro de energía
Residencial	10.6 %	8.7 %
Industrial	5.3%	3.4%
Comercial, publico	4.4%	2.7 %
Total	20.3%	14.8 %

Tabla 1-4 Indicadores base de eficiencia en el sector residencial [1].

Sector	Indicadores		
Residencial	Consumo Energético Per Cápita – 2008	Gcal/habitante	1.14
	Participación por Energético – 2008	Carbón Mineral	1.2%
		Gas Natural	21.2%
		Leña	28.1%
		Biodiesel	1.1%
		Carbón de Leña	5.7%
		Energía Eléctrica	30.4%
		GLP	11.5%
		Gasolina de Motor	0.9%

1.2.2 Proyecto piloto “Cambia tu nevera”

1.2.2.1 Antecedentes

El 30 de abril de 2008 el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT realizó el lanzamiento de la campaña “Cambia tu nevera” [33].

Esta correspondió a un proyecto piloto aplicado en la ciudad de Bogotá, en el que motivó a todas las personas que poseen neveras de fabricación anteriores a 1999, a que adquieran una nueva a cambio de su nevera vieja, recibiendo un bono como parte de pago y accediendo a facilidades para la cancelación del valor pendiente.

En esta iniciativa participaron además Industrias Haceb S.A., Mabe Colombia S.A., Almacenes Éxito S.A., el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD del MAVDT y la Cámara de Electrodomésticos de la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia – ANDI.

Colombia a través de la Unidad Técnica Ozono – UTO del MAVDT, ha gestionado la transformación del 100% de las empresas que fabrican refrigeradores domésticos en el país, con lo cual se ha eliminado el uso de CFC en este sector. Sin embargo, para el mantenimiento de las neveras antiguas (anteriores a 1997) es necesario permitir aún la importación de CFC, con el fin de garantizar su funcionamiento hasta que el propietario realice el cambio o hasta que el refrigerador termine su ciclo de vida.

Según datos de la ANDI, se estima que en Colombia pueden existir actualmente alrededor de 3 millones de neveras que aún usan CFC.

Teniendo en cuenta que los CFC son SAO y además son gases efecto invernadero (GEI) con alto Potencial de Calentamiento Global (PCG), el retirar estos equipos sin que los CFC sean liberados al ambiente, permitirá simultáneamente proteger la capa de ozono y ayudar en la mitigación del Cambio Climático.

1.2.2.2 Detalles del Proyecto

El proyecto consiste en realizar un piloto durante tres 3 meses, en la ciudad de Bogotá, para sustituir aproximadamente 10000 refrigeradores domésticos de diferentes tamaños, marcas comerciales y años de fabricación (anteriores al 31 de diciembre de 1999) que contienen CFC y que se encuentran en funcionamiento en poder de los usuarios finales. Además, comprende la gestión de los residuos provenientes de estos equipos, la cual incluye aprovechamiento de partes y disposición final de los CFC del circuito de refrigeración y de la espuma de poliuretano usada como aislamiento térmico.

Las neveras eran adquiridas en almacenes ÉXITO de Bogotá, tenían la posibilidad de elegir una nueva nevera HACEB, ICASA, MABE o CENTRALES marcadas con el logo del proyecto, y automáticamente recibían un bono por \$80.000 o \$100.000 como parte de pago.

La empresa Compraventa de Excedentes Industriales LITO Ltda., es la encargada de ejecutar las siguientes actividades: recepción y registro de equipos, recuperación del gas refrigerante, despiece del equipo de refrigeración, aprovechamiento de materiales, disposición final de residuos no aprovechables (espuma de poliuretano y/o fibra de vidrio y basuras) y manejo y destino final del gas refrigerante

1.2.3 Metas del PROURE

En materia de eficiencia energética, el marco de política y normatividad lo componen la ley 697 de 2001, sus decretos reglamentarios, y la resolución 180919 de junio de 2010, mediante la cual el Ministerio de Minas y Energía adoptó el PROURE 2010 – 2015. Dicho plan incluyó metas indicativas de ahorro de electricidad y otros energéticos, según se indica en la tabla 1.5.

Tabla 1-5 Potenciales metas de ahorro a 2015 – Plan de acción del PROURE [29].

Sector	Electricidad (GWh/año)		Otros energéticos (Tcal/año)	
	Potencial %	Meta %	Potencial %	Meta %
A nivel nacional	20,3	14,75	No disponible	2,1
Residencial	10,6	8,366	No disponible	0,55
Industrial	5,3	3,43	No disponible	0,25
Comercial, público y servicios	4,4	2,66	No disponible	No disponible
Transporte	No aplica	No aplica	0,44	0,33

De ese 14.75 % estimado en 2010, el 8.7 % correspondía a programas de sustitución de equipos en refrigeración e iluminación en el sector residencial, y el 3.43 % a reemplazo de motores en la industria.

Las metas replanteadas de reducción de consumo de electricidad para los sectores residencial e industrial, con un horizonte a 2017, son de 4.28% y 2.30%, respectivamente.

Para el sector residencial se plantean dos programas principales: reemplazo y chatarrización de neveras con edades superiores a 10 años, y la sustitución de bombillas incandescentes, se espera tener un ahorro al 2017 por refrigeración residencial de 1801 GWh/año y 204 MW.

1.3 EFICIENCIA ENERGÉTICA.

Contar con recursos energéticos suficientes y competitivos que impulsen el desarrollo en las próximas décadas, es la meta que varios países de Latinoamérica se han planteado, por lo que están definiendo lineamientos estratégicos para el sector eléctrico fundamentalmente. Esto representa sin lugar a dudas un desafío para los gobiernos y las

sociedades mismas a fin de que actúen en forma conjunta para lograr llevar a un país al nivel más alto de desarrollo y sustentabilidad, en donde el pilar principal es la eficiencia energética.

La eficiencia energética se conceptualiza como una forma de mantener o mejorar la calidad de vida utilizando menos recursos energéticos, y es una estrategia racional, económica y medio ambientalmente amigable. Los programas de eficiencia energética ejecutados en todos los sectores de consumo conllevan beneficios económicos demostrados para individuos y países, posibilitando la mayor disponibilidad de recursos para proyectos de beneficio social y de desarrollo económico y productivo.

Además con los programas de eficiencia energética se puede conseguir reducir las emisiones de carbono más fácilmente, al mismo tiempo que generan beneficios económicos sustantivos.

Para que un programa de eficiencia energética se pueda implementar en primera instancia se debe establecer índices de eficiencia energética, eficiencias mínimas o consumos de energía máximos que limite la comercialización en el país de productos, máquinas, instrumentos, equipos, artefactos, aparatos y materiales que utilicen cualquier tipo de recurso energético, en definitiva es de vital importancia trabajar para contar con un estándar mínimo de eficiencia energética (Minimum Energy Performance Standard - MEPS), para cada uno de los equipos que utilicen energía eléctrica para su funcionamiento, claro está que la estrategia principal radica en identificar cuáles de esos equipos son los que demandan consumos de energía más altos en cada una de los sectores de un país.

1.3.1 Indicadores de Eficiencia Energética.

Se le identifica también como el uso eficiente de la energía – UEE, como una función de las conductas individuales y de la racionalidad con que los consumidores utilizan la energía.

Existen dos tipos de indicadores que se utilizan para dar seguimiento a los cambios en la eficiencia con que los países o áreas de la economía usan la energía: los índices económicos y los índices técnicoeconómicos [34].

1.3.1.1 Índices económicos

Se utilizan cuando la eficiencia energética se evalúa a niveles agregados, por ejemplo al nivel del país o de un sector de la economía, ya que en este caso no es posible caracterizar la actividad con índices técnicos o físicos.

La Intensidad Energética (IE) es conocida internacionalmente como uno de estos índices económicos y se define como la relación entre el consumo de energía en unidades tales como: Tcal, TJ o toneladas de petróleo equivalente (tpe) e indicadores de la actividad económica, normalmente el producto geográfico bruto (PGB) o el valor agregado (VA) de la rama de actividad.

1.3.1.2 Índices Tecno-económicos

Se utilizan cuando los análisis se realizan a niveles suficientemente desagregados, sean estos por sub ramas o usos finales y relacionan la energía consumida con indicadores de la actividad expresados en unidades físicas (toneladas de acero, pasajeros kilómetros, m² de viviendas o edificios calefaccionados).

1.3.2 Propuesta de indicadores nacionales de uso de energía

Es importante caracterizar los usos finales de energía, por esta razón se recomienda seleccionar indicadores agregados y sectoriales, para cubrir los sectores más importantes en términos del consumo de energía de un país [3].

Los indicadores seleccionados se agrupan como indicadores macroeconómicos e indicadores de consumo energético en cuatro grandes sectores: industrial, residencial, transporte y público.

Para el caso de este documento, se tratarán únicamente los indicadores asociados al sector residencial.

Como premisa se afirma que el acceso a equipos de eficiencia más elevada induce a los usuarios en los hogares a tener una mejor satisfacción de las necesidades elevando el consumo de energía, sin tener necesariamente que identificar esta acción como un uso ineficiente de la energía. En particular se puede afirmar que los consumos de energía del sector residencial son fuertemente dependientes del ingreso de las familias.

En este sentido los indicadores pueden ser:

- Consumo de Energía Final Residencial por habitante (IE13): es el cociente entre el consumo de energía final del sector residencial y la población, para un país o una región, estrato social, etc.
- Consumo de Electricidad Residencial por habitante (IE14): es el cociente entre el consumo de energía eléctrica del sector residencial y la población, para un país o una región, estrato social, etc.

1.3.2.1 El Consumo de Energía Neta Residencial por Habitante

El consumo de energía neta residencial por habitante para el conjunto de países de Latinoamérica muestra una tendencia a la baja en todo el periodo 1990-2007, en un 2% (ver figura 1.6).

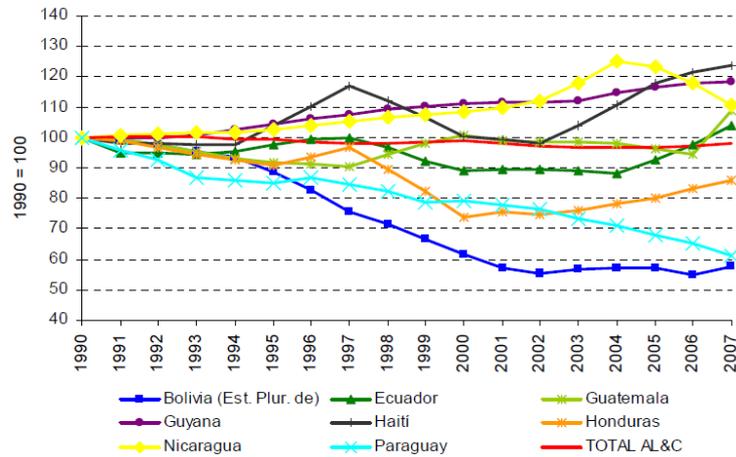


Figura 1.6 Consumo de energía neta residencial por habitante total en América Latina y el Caribe y Países con PIB (Per cápita menor a 2 000 US\$/habitante) [3].

1.3.2.2 El consumo de electricidad en los hogares

El consumo de electricidad en los hogares es más sensible a las variaciones del ingreso de las familias que el consumo total de energía neta de los mismos.

Al comparar las figuras 1.6 y 1.7 puede verse el diferente comportamiento del consumo de electricidad y del consumo neto total de energía del sector para el mismo grupo de países.

En América Latina y el Caribe, el consumo de electricidad por habitante creció entre 1990 y 2007 en un 55%, a una tasa promedio anual de 2,6%; mientras que en el mismo periodo el consumo neto total de energía decreció un 2%, o sea un promedio anual de -0,1%.

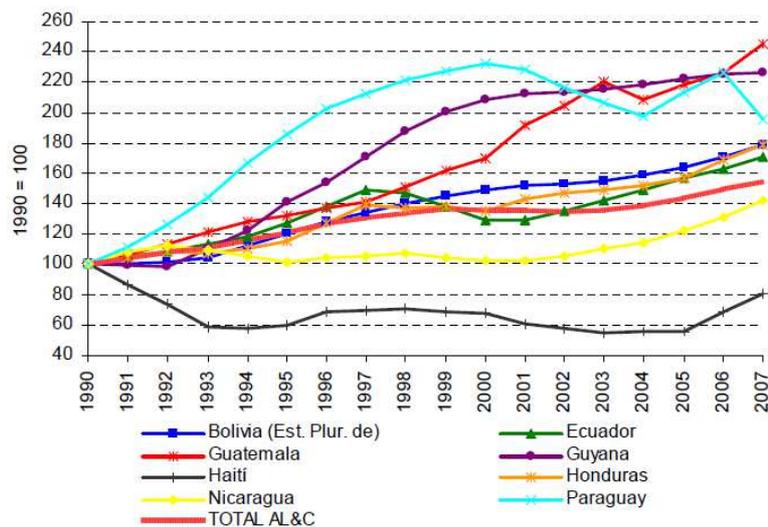


Figura 1.7 Consumo de electricidad residencial por habitante total en América Latina y el Caribe y Países con PIB (Per cápita menor a 2 000 US\$/habitante) [3].

1.3.3 Evaluación de las políticas y programas de eficiencia energética.

Para la evaluación de programas de eficiencia energética se introducen tres tipos de indicadores: de nivel de desarrollo de las actividades de promoción de la eficiencia energética, de calidad de programas y de resultados de los mismos.

El empleo de indicadores es importante, ya que permite cumplir con dos objetivos de carácter general:

- Acompañar y comparar programas y actividades en eficiencia energética.
- Insertar el fomento a la eficiencia energética y el establecimiento de metas explícitas y cuantitativas de ahorro de energía y de reducción de emisiones.

En el caso que se requiera evaluar un programa o un proyecto de eficiencia energética, los indicadores podrían ser: indicadores que apoyan el diagnóstico y la formulación de proyectos que componen el programa o de diagnóstico, indicadores que apoyan el seguimiento de los mismos o de ejecución e indicadores de resultado o impacto de cada proyecto.

Indicadores de diagnóstico: son la base para la planificación del desarrollo del programa de eficiencia energética, pues permiten establecer la situación de los consumos energéticos sectoriales en un momento determinado y su importancia relativa. Los indicadores más utilizados para la orientación de la inversión son aquellos que se relacionan con: cobertura de servicios, calidad del consumo energético, intensidad del mismo, etc.

Indicadores de seguimiento: estos indicadores deberán medir la eficiencia (asociada al nivel de pérdidas de energía) y la eficacia (relacionada con el desempeño de la gestión del programa), de tal manera que sea posible introducir cambios durante el proceso de ejecución. Los principales indicadores de seguimiento a la ejecución física de los proyectos, podrían ser: Indicadores de ejecución e Indicadores de verificación.

Indicadores de resultados: toman en cuenta las principales variables que determinan la operación del programa y sus efectos, pudiendo abarcar la evaluación de los resultados energéticos, objetivo central de cualquier programa de fomento a la eficiencia energética, así como los costos, en su amplia acepción, asociados a esos resultados. Pueden ser: indicadores de impacto como el ahorro energético en kWh de energía eléctrica por un período determinado; indicadores de eficacia; indicadores de cobertura: relacionan el número de usuarios o beneficiarios del programa nacional y sus proyectos en un período determinado, con la población (usuarios) objetivo del proyecto y las proyecciones de incorporación en el tiempo; indicadores de calidad.

1.3.4 Estándares Mínimos de Eficiencia Energética

Los acondicionadores de aire y refrigeradores-congeladores son los principales consumidores de energía en el sector residencial y en cierta medida en el sector comercial

y por lo tanto la mejora en la eficiencia de estos equipos es necesario para reducir su consumo de energía, junto con la prevención de la contaminación del medio ambiente [35].

De acuerdo con la base de datos en línea CLASP de estándares y etiquetado, los países miembros de la Unión Europea (UE) y otros 18 países más, tienen normas de eficiencia energética obligatorias para refrigerador y congelador, en cambio otros 24 países tienen un programa de etiquetado comparativo obligatorio [36].

Por citar casos específicos, en México la refrigeración es la responsable de aproximadamente el 29% del consumo eléctrico en hogares ubicados en climas templados [37].

En consecuencia un refrigerador/congelador presenta un uso generalizado a nivel mundial, por lo que su producción se estimó en 90 millones de unidades al año, en el 2008.

A nivel internacional, hay cerca de 60 países en todo el mundo que tienen algún tipo de programa para regular la eficiencia energética de refrigeradores y congeladores independientes, en su mayoría en forma de etiquetado energético comparativo obligatorio y estándares mínimos de eficiencia energética (MEPS) (Minimum Energy Performance Standards) [6].

Se entiende como estándar mínimo de eficiencia energética (Minimum Energy Performance Standard - MEPS), a la especificación de una serie de requisitos de desempeño energético que un producto debe cumplir para su comercialización y además limita la cantidad máxima de energía que puede ser consumida por un producto en el desempeño de una tarea específica. El desempeño puede medirse mediante un índice de eficiencia energética, eficiencia mínima o consumo de energía máximo.

También se conocen como mecanismos de política pública que prohíbe la comercialización de productos que no cumplan con los límites específicos de consumo de energía [38].

Experiencia de MEPS en Colombia.

El Reglamento Técnico de Etiquetado – RETIQ, se encuentra en trámite, la etiqueta que se propone en Colombia tiene un límite inferior que funciona como un estándar mínimo de eficiencia energética.

El parámetro que define este reglamento es el “Ahorro Relativo (A_r)” que representa una forma de eficiencia relativa donde la referencia de consumo corresponde a equipos convencionales.

El Ahorro Relativo (A_r) se obtiene como la razón entre la diferencia de consumos de energía eléctrica entre el equipo equivalente convencional de referencia y el equipo bajo ensayo, respecto del consumo del equipo de referencia, de acuerdo a lo establecido en la tabla 1.6.

Tabla 1-6 Rango de eficiencia energética [39].

Ahorro Relativo	Rango de eficiencia energética
Ar (%)	
Ar > 78	A
78 > Ar ≥ 67	B
67 > Ar ≥ 56	C
56 > Ar ≥ 45	D
45 > Ar ≥ 25	E
25 > Ar ≥ 5	F
5 > Ar ≥ - 10	G

El ahorro relativo (Ar) [39], se calcula por la expresión:

$$Ar = \frac{(SC\alpha - AC)}{SC\alpha} * 100 (\%)$$

Donde:

- AC: Consumo de energía anual del refrigerador, determinado en un periodo de prueba de 24 horas * 364 días; Medida de laboratorio.
- SCα: Consumo de energía anual normalizado del aparato usado como referencia.

Se puede relacionar con la etiqueta Chilena y Europea al relacionar que $Ar=100-I$

La categoría A en Colombia es equivalente a A+++ de Europa, a categoría G en Colombia equivale a la categoría E en Chile, por lo tanto, el estándar de eficiencia energética para refrigeradores y congeladores es equivalente al índice de eficiencia energética de 110 en Chile [39].

En el Anexo A se pueden observar otras experiencias en otros países en el uso de MEPS para el control del consumo de energía eléctrica.

CAPITULO 2: DINÁMICA DE SISTEMAS

En este capítulo se presenta una revisión de las aplicaciones de la metodología de la Dinámica de Sistemas para el modelado en general, mismo que sumado al capítulo anterior, complementa para cumplir con el objetivo específico: “Realizar una revisión crítica del estado del arte que permita tomar elementos importantes y adoptarlos en el modelo que se va a proponer”.

2.1 Introducción

La dinámica de sistemas fue desarrollada originalmente por el profesor Jay W. Forrester en el MIT en la década de 1950. Se aplicó la dinámica de sistemas en la industria directamente en la gestión de la cadena productiva y otros sistemas industriales. La idea principal era modelar estructuras de organización que utilizan diagramas de stock y flujo. En los próximos años, Forrester aplicó la dinámica del sistema a la economía, ciencias sociales, y la planificación urbana. El enfoque de la dinámica de sistemas se propagó rápidamente de las aplicaciones industriales originales a muchas otras disciplinas [40] [41].

Los modelos de simulación basados en la dinámica de sistemas se están convirtiendo cada vez más populares en el análisis de políticas energéticas, incluyendo el calentamiento global, la desregulación, la conservación y la eficiencia. La utilidad de estos modelos se basa fundamentalmente en su capacidad para vincular los patrones observables de comportamiento a nivel micro, de un sistema estructural muy complejo [39].

Muchas son las temáticas y las áreas de estudio aplicadas en el modelado con DS, quizá se puede afirmar que el factor común de esto es el análisis del caso en distintos escenarios, para seleccionar la alternativa de política que lleve sustancialmente a una mejora a un largo plazo al sector que está siendo estudiado

Como ejemplo se puede mencionar un modelo de simulación del mercado eléctrico, de donde se proporcionaría una señal adecuada en cuanto al momento y cantidad de nuevas inversiones a realizar [42].

En el campo eléctrico se han identificado artículos científicos, en donde se estudia los cambios de la intensidad energética como un indicador básico para el sector residencial [43], se hace un análisis de la robustez de un mecanismo de seguridad de suministro eléctrico [44], se estudia como los diferentes precios afectan el patrón de consumo eléctrico residencial [45], se evalúan los efectos de una reforma implementada en un mercado eléctrico [46], se conocen como se comportan en el tiempo distintos escenarios energéticos [47], se demuestra que al combinar aspectos de ganancias e intereses se puede hacer una evaluación global de una política energética [48], etc.

Por otro lado en temas medio ambientales se ha desarrollado por ejemplo un modelo para entender el suministro de gas y como regulaciones establecidas por el gobierno lo afectarían a futuro [49], en lo que respecta a gases de efecto invernadero se modela políticas que se están implementado para determinar su impacto en las emisiones [50], [51], la búsqueda de generar electricidad con energía alternativas hacen que los investigadores modelen la introducción de políticas para la producción de biocombustibles [52], valorar ecológicamente los impactos que se ocasionarían en los ecosistemas hídricos [53], por mencionar algunos.

Se han verificado a demás trabajos que se relacionan con el aspecto laboral y el bienestar de las personas [54], con el manejo de inventarios, cadena de suministros y productivas [55], [56], análisis de la estructura agraria [57], industria de la comunicación gráfica [58], tecnologías en el campo automotriz [59], movilidad en las ciudades y sostenibilidad en el transporte [60], [61] y de vivienda [62].

Un sistema es un conjunto de partes interconectadas para formar una estructura que produce un cierto comportamiento. Un sistema dinámico es un sistema que tiene memoria, lo que significa que los estados anteriores afectan los estados futuros. La dinámica de sistemas es una forma de estudiar la estructura y el comportamiento de los sistemas complejos, y por lo tanto, el objetivo principal es describir la estructura lo más veraz posible y sus causalidades, utilizando lazos de retroalimentación, retardos y la no linealidad. Todo esto crea un modelo complejo y no lineal, que es difícil de entender. Por lo tanto el comportamiento se estudia en simulaciones a través de un ordenador.

Es importante entender el comportamiento del sistema como un todo, porque las diferentes partes están interactuando indisolublemente entre sí. Esta parte del proceso se suele llamar el pensamiento sistémico, lo que implica determinar causalidades, lazos de retroalimentación y retardos.

La dinámica de sistemas representa una de las metodologías con posibilidades para modelar distintos escenarios en la aplicación de situaciones complejas como por ejemplo una política de eficiencia energética, la cual nos daría la posibilidad de asegurar a un mediano o largo plazo que las decisiones tomadas tendrán impactos positivos en la población involucrada.

La DS se basa en el supuesto de que el comportamiento, a veces es indeseable e incontrolable. Por lo tanto es importante entender el comportamiento del sistema como un todo, porque las diferentes partes están interactuando indisolublemente entre sí y sus interacciones entre ellas juegan un papel crucial en la determinación del comportamiento de todo el sistema, dichas interacciones y las variables se describen por dependencias matemáticas.

La estructura global de los modelos en DS se establece mediante bucles de retroalimentación, que son circuitos cerrados de relaciones causales que pueden ser

negativos o positivos. Éstos a su vez se componen de variables de nivel, de flujo y auxiliares. Las variables de nivel, representan el estado del sistema en un momento dado. Las variables de flujo, son las que determinan las acciones que cambian el estado del sistema y finalmente, las variables auxiliares, se utilizan para facilitar los pasos intermedios en la formulación de los flujos

2.2 Diagrama causal de lazo

Las flechas en un bucle de realimentación de refuerzo (positivo) y uno de realimentación de equilibrio (negativo), ilustran la dirección de la causa y la información. Los signos más y menos ilustran la polaridad del efecto. Un signo más significa que si A aumenta entonces B aumenta (si A disminuye luego disminuye B). El signo menos significa que si F aumenta entonces D disminuye (si F disminuye luego D aumenta). En resumen, en diagramas de circuitos causales (+) – los signos denotan el cambio en la misma dirección y (-) - cambio de signo en la dirección opuesta.

Diferentes modeladores utilizan diferentes símbolos en los modelos. Un bucle de refuerzo puede estar indicada con la letra R signo (+) - y un bucle de regulación con la letra B signo (-)- (ver figura 2.1).

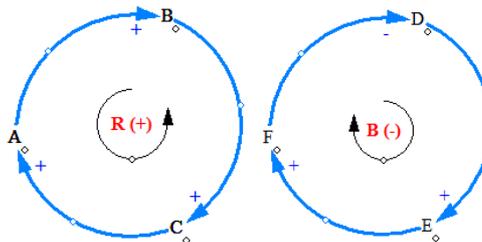


Figura 2.1 Bucle de realimentación positiva y negativa. Fuente: Autor

2.3 Diagramas de Niveles y Flujos

Llamados también diagramas de Influencia o Diagramas de Forrester, tienen origen con la creación de la Dinámica de Sistemas, se presentan como diagramas de “Stock and Flows” [63]. Su representación tiene relación cercana a la del modelo matemático.

Existen ciertas reglas básicas o principios para la construcción de diagramas de niveles y flujos (ver figura 2.2). La mayor parte de estos conceptos pueden ser encontrados en el libro “Principles of Systems” (Forrester, 1968) [64].



Figura 2.2 Diagrama de nivel y flujos. Fuente: Autor

$$\begin{aligned}
& \text{Refrigeradores nuevos por beneficios del Plan } (t) \\
& = \text{Refrigeradores nuevos por beneficios del Plan } (t_0) \\
& + \int_{t_0}^t [\text{Hogares con crédito para la sustitución del electrodoméstico } (\tau) \\
& - \text{aplicaciones descalificadas}(\tau)] d\tau
\end{aligned}$$

2.4 Propiedades de la Dinámica de Sistemas

Como propiedades de la DS es necesario analizar los bucles de retroalimentación, los retardos y no linealidades que por lo general dan lugar a un comportamiento complejo del sistema.

2.4.1 Bucles de retroalimentación

Son una parte importante del sistema y permiten un comportamiento complejo. Hay sólo dos tipos de lazos de Retroalimentación, una positiva y una negativa, como ya se ha visto en la figura 1.15, un bucle de retroalimentación positiva denota un bucle de refuerzo, un bucle de retroalimentación negativa denota un bucle de regulación.

2.4.2 Retardos

Las demoras son importantes en los sistemas dinámicos; un retardo en un bucle de retroalimentación negativa es generalmente la razón de rebasamiento y oscilación. Sin embargo, las demoras no son siempre malas, sino que también puede filtrar el ruido no deseado y dar una visión clara de la señal.

2.4.3 No linealidades y bucles dominantes

A menudo, el comportamiento complejo es causado por relaciones no lineales, que permiten el cambio en el dominio del bucle en función del estado del sistema. En el crecimiento en forma de s , por ejemplo, primero un crecimiento exponencial está teniendo lugar causado por un bucle de retroalimentación positiva. En algún momento el dominio de bucle se desplaza hacia el bucle de realimentación negativa que resulta en un comportamiento de búsqueda de objetivos. Esta es una propiedad endógena de los sistemas dinámicos no lineales. La capacidad de las dependencias no lineales para generar cambios en el dominio del bucle es una razón importante para el uso de modelos no lineales.

Las relaciones no lineales permiten también muchos tipos de comportamientos que no son posibles en los sistemas lineales, como equilibrios múltiples, bifurcaciones, ciclos límite, y el caos [65].

2.4.4 Complejidad Dinámica

También hay otros tipos de complejidad, es decir la complejidad dinámica. Complejidad dinámica no necesita una gran cantidad de partes que interactúan en conjunto, puede surgir

de situaciones muy simples. El comportamiento de un sistema simple con bucles de retroalimentación, con retardos y no linealidades puede ser muy compleja de hecho.

En los sistemas dinámicos las acciones de hoy podrían ser los problemas de mañana, el sistema está en constante cambio, y puede que no haya un equilibrio del sistema.

De hecho los sistemas del mundo real puede ser complejos debido a la gran cantidad de componentes y debido a relaciones dinámicas.

2.4.5 Los Arquetipos.

Son herramientas muy eficaces para tener una idea de los patrones de comportamiento, a sí mismo reflejan la estructura subyacente del sistema que está siendo estudiado.

Los arquetipos se pueden aplicar para probar si las políticas y las estructuras en estudio pueden estar alterando la estructura de la organización, de tal manera que se produzca el comportamiento arquetípico. Si los directivos ven que este es el caso, se pueden tomar medidas correctivas antes de que se adopten [66].

Generalmente diez arquetipos son reconocidos como el conjunto de herramientas que forman los patrones que revelan el comportamiento de los sistemas.

1. Límites del Crecimiento
2. Desplazamiento de la carga
3. La erosión de Metas
4. Escalada
5. El éxito para el exitoso
6. Tragedia de los Comunes
7. Correcciones que fallan
8. Crecimiento y La falta de inversión
9. Adversarios accidentales
10. Principio de Atracción

En el anexo B se puede revisar las características generales de cada uno de los 10 arquetipos establecidos.

2.4.6 Modelización de Variables Soft

Todos los recursos intangibles en un modelo son conocidos como “variables soft” y se caracterizan por que su cuantificación es compleja; es aquella variable de la que no se tienen datos numéricos disponibles, e incluyen factores como características cualitativas, percepciones y expectativas concernientes a una persona o cosa [67].

El proceso de modelización puede ser dividido en cuatro fases: conceptualización, formulación, evaluación e implementación, en cada fase se puede incluir variables soft.

Conceptualización, es importante escoger y definir las variables más importantes para el sistema a modelizar. Se presentan dificultades para reconocer la necesidad de incluir las variables soft, ya que al ser variables que tienen efectos a largo plazo puede ser difícil reconocer su influencia a primera vista.

Formulación es quizás la fase más complicada para el manejo de variables soft. En éste se define la estructura del modelo y los problemas se derivan especialmente de no poder medir las variables soft de forma directa. Obliga a tener que definir las variables en función de indicadores de los cuales puede ser muy difícil conseguir datos reales, por lo que, en ocasiones, se establece una medida categórica dada, según la experiencia y la intuición.

Evaluación. Consiste en dar un paso hacia atrás para validar si las hipótesis dinámicas cumplen con los modos de referencia y los supuestos definidos en la primera etapa. En esta etapa, los problemas de la modelización de variables soft están relacionados con la dificultad de establecer las relaciones de las variables soft y la imposibilidad para contrastar los resultados con datos reales.

Implementación, se prueba con diferentes políticas y escenarios para estudiar los comportamientos que se generan. Los dos puntos que ocasionan problemas son: la mala interpretación de los resultados y la falta de credibilidad en los resultados.

2.4.7 Experimentación

Los modelos de DS, son construidos para que cumplan con dos propósitos principales. En primera instancia, poder explicar el comportamiento de los sistemas, en razón de su estructura y políticas de orientación y, en segundo lugar, poder servir como instrumentos para estudiar cambios estructurales y/o políticos de la organización.

Para poder garantizar los propósitos antes mencionados, el modelo debe ser evaluado, validado y analizado.

2.4.7.1 Evaluación del modelo

El modelo debe ser evaluado en consideración a su capacidad de reproducir el comportamiento del sistema. Esto permite observar cómo políticas de manejo, tienen efectos en la estabilidad de los niveles del sistema, además de este aspecto, el modelo debe ser evaluado en relación con su respuesta a las metas propuestas.

Los modelos deben recoger las tendencias y ciclicidades de comportamiento del sistema. Ellos deberán reflejar los estados de crecimiento o decrecimiento cuando la organización se comporte de igual manera; asimismo, deben ser capaces de reproducir las estacionalidades de los sistemas.

2.4.7.2 Validación del modelo

Cuando el modelo se basó en datos inexistentes (dados por intuición o experiencia), se puede recurrir a información de sistemas similares y será posible incluir apreciaciones subjetivas. Pero se debe tener claro las limitaciones de su alcance y debe planearse su revisión en la medida que se reúna datos nuevos.

En situaciones de información inexistente, la validación se efectúa intentando detectar resultados por fuera de las fronteras.

Cuando la información es apropiada, inicialmente se puede proceder como si se careciera de ella para evaluar posibles problemas en la frontera del sistema y posteriormente se podrán utilizar métodos estadísticos, empezando por diferencias absolutas y porcentuales, pasando por pruebas de tendencia (correlacionalidad) y concluyendo con los de bondad de ajuste.

En la planificación a largo plazo y en la evaluación de políticas o estrategias organizacionales no se prevé como fin construir escenarios exactos, sino, buscar acciones que permitan el logro de ciertas metas globales.

2.4.7.3 Análisis del modelo

Para efectuar análisis de sensibilidad del modelo se determina cuáles son los parámetros que inducen variaciones apreciables en los resultados. Esto implica realizar estimaciones cuidadosas de dichos parámetros y una atención cuidadosa en la construcción de hipótesis de los escenarios propuestos.

La forma de procedimiento para la selección e identificación de parámetros sensibles presupone un conocimiento detallado del sistema, por cuanto su examen exhaustivo puede ser impracticable en modelos de gran envergadura.

CAPITULO 3: VARIABLES DEL MODELO.

En este capítulo se hace un estudio para determinar los datos tanto de partida como de proyección de las distintas variables consideradas en el modelo, como las variables demográficas, variables de pisos térmicos, variable de penetración de refrigeradores domésticos en Colombia, variables de consumo de energía eléctrica por uso de refrigeradores y variables que consideran la vida útil del refrigerador, en función del cumplimiento del objetivo específico establecido como: “Estudiar y analizar las diferentes variables socioeconómicas y geográficas que van a tener influencia en la aplicación de un plan de renovación de refrigeradores domésticos más eficientes”.

3.1 Variables Demográficas

En lo que respecta al número de habitantes, Colombia cerró en el año 2013 con una población de 48.321.405 personas, lo que supone un incremento de 616.978 habitantes respecto al año 2012, en el que la población fue de 47.704.427 personas. Presentando una tasa de crecimiento del año de 1.293%, lo que da como resultado en una población aproximada al 2014 de 48.946.363 habitantes.

En el modelo se estableció una proyección en la que se determina que al 2023 en Colombia habrá aproximadamente 55.000.000 de habitantes.

Debido a los planes de urbanización que se llevan a cabo en el país, aproximadamente cada 3 de 4 colombianos viven en zonas urbanas. Bogotá cubre casi la quinta parte de la población, la segunda y tercera ciudad más grande son Medellín y Cali.

Como se puede observar en la tabla 3.1, las 10 aglomeraciones más grandes del país totalizan en conjunto la mitad de la población colombiana.

Tabla 3-1 Las 10 aglomeraciones más grandes de Colombia [68].

Ciudad	Habitantes
Bogotá	8.500.000
Medellín	3.500.000
Cali	2.750.000
Barranquilla	1.850.000
Cúcuta	1.300.000
Cartagena	1.000.000
Bucaramanga	1.000.000
Ibagué	500.000
Pereira	670.000
Santa Marta	450.000
Total 10 ciudades	21.520.000

De acuerdo a lo que se establecen en las estadísticas otorgadas por el DANE para el año 2013, el promedio de personas por hogar en Colombia es de 3.53, de acuerdo a lo que se puede observar en la tabla 3.2.

Tabla 3-2 Promedio de personas por hogar en Colombia - año 2013 Fuente: DANE.

	Total de Habitantes	Total de viviendas	Total de Hogares	Hogares por vivienda	Personas por hogar
Total	46.666.577	12.965.064	13.427.281	1,03565	3,5
Cabecera	35.989.742	10.138.920	10.528.355	1,03565	3,4
Resto	10.676.835	2.826.144	2.898.926	1,03565	3,7
				Promedio	3,53

3.2 Variable de Pisos térmicos

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), clasifica el clima de Colombia por medio de “Pisos Térmicos”, en este sentido la altura sobre el nivel medio del mar (NSMM) es el factor principal que caracteriza cada clima, de acuerdo a esto hay cinco pisos térmicos que son: Glacial (>4000 y < 6°C), Páramo (3000-4000 y 6-12°C), Frío (2000-3000 y 12-18°C), Templado (1000-2000 y 18-24°C) y Caliente (<1000 y >24°C) [69], (ver figura 3.1).

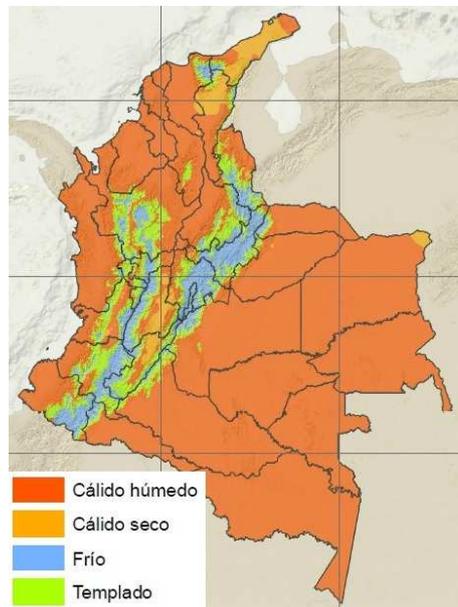


Figura 3.1 Pisos térmicos en Colombia [69].

En Colombia se puede distinguir ciudades como Bogotá que se encuentra ubicado a 2625 m, con temperaturas que oscilan entre los 7.6°C y los 19.7°C y humedad relativa del 70%, por lo que estaría ubicado en un piso térmico frío, Medellín está a 1495 m, con temperaturas promedio que van entre 16.5°C y los 28.3°C y humedad relativa del 68%, correspondiendo al piso térmico templado, Cali está a 997 m, con temperaturas promedio que van desde los 15.4°C y los 33.0°C y humedad relativa de 75%, lo que corresponde al piso térmico caliente (cálido seco) y por último está Barranquilla la cual está a 18 m, con temperaturas promedio que van desde los 23.4°C y los 33.3°C y humedad relativa del 80%, lo que corresponde también a piso térmico caliente (cálido húmedo).

Colombia es un país mayoritariamente urbano, concentrando más del 70% de su población en las grandes ciudades, especialmente en la Región Andina y en segundo plano la Región Caribe. Las 20 ciudades más pobladas del país son: Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena de Indias, Cúcuta, Bucaramanga, Soledad, Ibagué, Santa Marta, Villavicencio, Soacha, Pereira, Bello, Valledupar, Montería, Pasto, Manizales, Buenaventura y Neiva. A continuación se puede observar en la tabla 3.3 el listado de las 20 ciudades más pobladas de Colombia en donde se resalta el piso térmico en la que se encuentran, su número de habitantes y el porcentaje que representa en función del total de habitantes.

Tabla 3-3 Listado de las Ciudades más Habitadas en Colombia – Clima. Fuente: Autor.

No.	Departamento	Municipio	Clima	Habitantes	Porcentaje del total
1	Antioquia	Medellín	Templado	2393011	5,13
2	Atlántico	Barranquilla	Cálido Húmedo	1548506	3,32
3	Bogotá D.C.	Bogotá D.C.	Frío	7363782	15,78
4	Bolívar	Cartagena De Indias	Cálido Húmedo	978600	2,10
5	Valle Del Cauca	Cali	Cálido Seco	2294653	4,92
6	Norte De Santander	Cúcuta	Templado	650000	1,39
7	Santander	Bucaramanga	Cálido Húmedo	509918	1,09
8	Atlántico	Soledad	Cálido Húmedo	681000	1,46
9	Tolima	Ibagué	Templado	548209	1,17
10	Magdalena	Santa Marta	Cálido Húmedo	415270	0,89
11	Meta	Villavicencio	Cálido Húmedo	486366	1,04
12	Cundinamarca	Soacha	Frío	466938	1,00
13	Risaralda	Pereira	Templado	606852	1,30
14	Antioquia	Bello	Templado	389404	0,83
15	Cesar	Valledupar	Cálido Seco	354449	0,76
16	Córdoba	Montería	Cálido Húmedo	288192	0,62
17	Nariño	Pasto	Frío	312759	0,67
18	Caldas	Manizales	Frío	342620	0,73
19	Valle Del Cauca	Buenaventura	Cálido Húmedo	290457	0,62
20	Huila	Neiva	Cálido Seco	295412	0,63

En la tabla 3.4 se han agrupado las 20 ciudades más pobladas de Colombia por el piso térmico en el que se encuentran, esto con la intención de totalizar la población existente de manera porcentual con respecto al país.

Tabla 3-4 Municipios más poblados en Colombia y su ubicación por piso térmico Fuente: Autor.

No.	Municipio	Clima	Total Porcentual Por Clima Ponderado
1	Bogotá D.C.	Frío	39,99
2	Soacha	Frío	
3	Pasto	Frío	
4	Manizales	Frío	
5	Medellín	Templado	21,62
6	Cúcuta	Templado	
7	Ibagué	Templado	
8	Pereira	Templado	
9	Bello	Templado	
10	Cali	Cálido Seco	13,87
11	Valledupar	Cálido Seco	
12	Neiva	Cálido Seco	
13	Barranquilla	Cálido Húmedo	24,50
14	Cartagena De Indias	Cálido Húmedo	
15	Bucaramanga	Cálido Húmedo	
16	Soledad	Cálido Húmedo	
17	Santa Marta	Cálido Húmedo	
18	Villavicencio	Cálido Húmedo	
19	Montería	Cálido Húmedo	
20	Buenaventura	Cálido Húmedo	

Una vez totalizada la población en forma porcentual y considerando que está representada por aproximadamente el 48% de la población total de Colombia se realizó una ponderación al 100% estableciendo que el 40% del total de refrigeradores en uso en Colombia funcionan en clima frío, el 21.62 % funcionan en climas templados y el 38.38 % en clima cálido sea este seco o húmedo.

3.3 Variable de Porcentaje de Penetración de Refrigeradores Domésticos en Colombia

En Colombia se presenta una gran influencia a la tenencia de aparatos eléctricos y electrónicos en función de la estructura social de la población, la cual está subdividida en 6

estratos, siendo el estrato 6 el de más altos ingresos; en la tabla 3.5 se puede observar el número de hogares existentes en Colombia por estrato social.

De acuerdo a esta información se puede determinar que entre los estratos 1, 2 y 3 existen más de 8.000.000 de hogares

Tabla 3-5 Distribución de los hogares en Colombia según conexiones de energía [68].

Estrato	Distribución Hogares (energía)	N° Hogares	N° Personas
1	11%	1.201.700	4.685.457
2	33%	3.605.099	14.056.370
3	35%	3.823.589	14.908.271
4	11%	1.201.700	4.685.457
5	6%	655.472	2.555.704
6	4%	436.982	1.703.802
Total	100%	10.924.541	42.595.061

Por otro lado y a fin de cumplir con los requerimientos del Protocolo de Montreal (ver capítulo 2.3.2.2), Colombia ha aprobado varias resoluciones. La Resolución 528 del 1997 dice: “se prohíbe la fabricación e importación de equipos y productos que contengan o requieran para su producción u operación las sustancias agotadora de la capa de ozono listadas en los anexos A y B del Protocolo de Montreal, y se adoptan otras determinaciones”

En el 2008 la penetración de neveras ya superaba el 70% de los hogares (ver figura 3.2), esta consideración se la hace partiendo de que sólo existe 1 nevera por hogar.

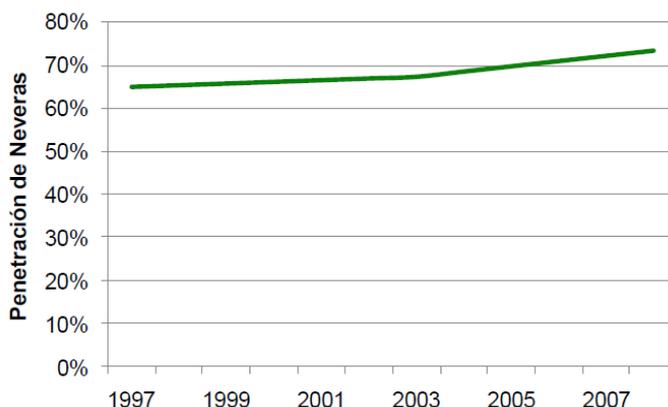


Figura 3.2 Evolución de la penetración de neveras en Colombia [68].

Sumando a partir del año 1975, se estima que se habrán comercializado en Colombia unos 16 millones de neveras hasta el 2014, de los cuales aproximadamente 10 millones fueron vendidas después del 2000 (ver figura 3.3).

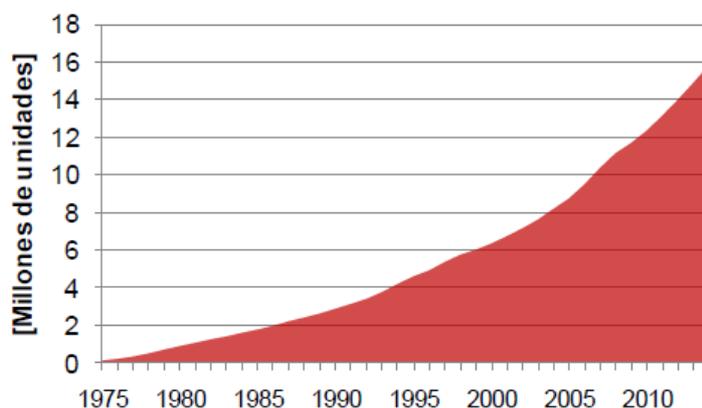


Figura 3.3 Consumo aparente de neveras entre 1975 y 2014 acumulado [68].

El número de neveras en uso casi se triplica en el período del 1997 al 2014, cuando habrá 11 millones de neveras según las estimaciones. Esto igualará aproximadamente el número de hogares lo que indica que el mercado posiblemente estará saturado.

Este valor se confirma con los datos obtenidos de las bases de datos de DANE en cuanto al número de refrigeradores existentes en Colombia para los años 2008, 2010, 2011, 2012 y 2013, (ver tabla 3.6).

Tabla 3-6 Refrigeradores existentes en Colombia. Fuente: DANE.

Refrigeradores existentes en Colombia				
Año	Total	% Total	Cabecera	Resto
2008	8.662.320	73,3	7.392.835	1.2690484
2010	9.319.719	75,5	7.911..294	1.408.425
2011	9.862.467	77	8.364.139	1.498.328
2012	10.272.274	78,7	8.652.221	1.620.053
2013	10.661.317	79,4	8.946.545	1.714.772

Identificando los datos anteriores en una ecuación lineal se hace una proyección al 2023, con una confiabilidad de 0.9991 que considera un crecimiento hasta la unidad. De esta manera se puede obtener el factor de penetración de refrigeradores domésticos por año en, (ver figura 3.4).

$$y = 0.0157x - 30.893$$

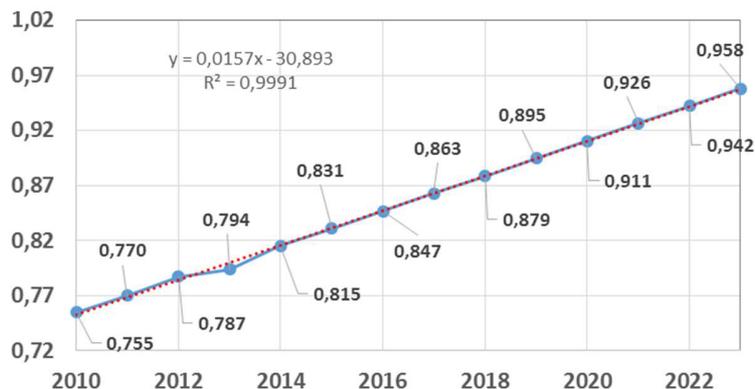


Figura 3.4 Penetración de refrigeradores domésticos en Colombia al año 2023, Fuente: Autor.

3.4 Variable de consumo de energía eléctrica de refrigeradores domésticos

Los kilovatios-hora es la unidad de electricidad por la que las compañías eléctricas cobran. Según la empresa Otter Tail Power Company (OTPC), la mayoría de los refrigeradores usa entre 780 y 300 vatios.

La cantidad de kW que utiliza un electrodoméstico es importante a la hora de determinar el costo del consumo de energía eléctrica en un hogar, para contar con toda la información necesaria para el cálculo, se requiere conocer del número de horas que se utilizan los electrodomésticos.

Para el caso específico de los refrigeradores domésticos, estos normalmente funcionan por 150 a 300 horas al mes [70]. La electricidad en Colombia en promedio cuesta 17 centavos por kWh. Por otro lado el uso de un kWh de electricidad suma 2,34 libras (1,6 kg) de dióxido de carbono emitido a la atmósfera.

El consumo de energía eléctrica de un refrigerador doméstico puede incrementarse al paso de los años, pudiendo en algunos casos hasta triplicar el valor del consumo, representando en las facturas de energía de los hogares hasta un 60% del valor total, en la tabla 3.7 se puede ver los valores aproximados de consumo según los años de vida.

Tabla 3-7 Consumo de energía eléctrica por años de uso, para refrigeradores de 24,5 pie³ (693 litros) y más. Adaptado de [70].

Modelo	Fabricado	Años de vida a 2014	Consumo kWh/año
Top	Antes de 1980	> 34 años	2650
	Entre 1980 - 1989	25 a 34	2050
	Entre 1990 - 1992	22 a 24	1540

	Entre 1993- 2000	14 a 21	1020
	Entre 2001- 2008	6 a 13	630
Side 	Antes de 1980	> 34 años	3410
	Entre 1980 - 1989	25 a 34	2630
	Entre 1990 - 1992	22 a 24	1980
	Entre 1993- 2000	14 a 21	1250
	Entre 2001- 2008	6 a 13	790
Upright 	Antes de 1980	> 34 años	2910
	Entre 1980 - 1989	25 a 34	2420
	Entre 1990 - 1992	22 a 24	1710
	Entre 1993- 2000	14 a 21	1270
	Entre 2001- 2008	6 a 13	630

En la tabla 3.8 se puede observar algunos modelos de refrigeradores, congeladores y refrigeradores/congeladores eficientes, de la marca Sun Frost con sello de calidad Energy Star [70], con información del consumo energético y su variación por el cambio de temperatura en el que funcionan.

Estos valores de consumo da la posibilidad de establecer en forma porcentual las cantidades de incremento que corresponden de manera general por cambio de piso térmico, en el caso de la tabla 3.8 se puede afirmar que cuando un refrigerador pasa de funcionar en un piso térmico templado a funcionar en uno cálido se debería incrementar al valor de consumo de energía eléctrica un 44%.

Tabla 3-8 Consumo energético de refrigeradores, congeladores y refrigeradores/congeladores Sun Frost [70].

Tamaño (m.) HxWxD	Uso promedio diario de energía (W/h)	Uso promedio anual de energía* (kW/año)	Uso promedio de energía**						Peso (lbs.)	Volumen en (pie3)	% de cambio por piso térmico
			a 70°F/21°C			a 90°F/32°C					
			amp/h	kW/h	kW/año	amp/h	kW/h	kW/año			
Refrigeradores con Eficiencia Energética											
1,67x0,87x0,7	350	630	28	0,33	594	47	0,56	1008	167	37	69,7
1,67x0,87x0,7	350	630	28	0,33	594	47	0,56	1008	167	37	69,7
1.1x0,87x0,7	190	342	13	0,17	306	23	0,28	504	215	25	64,7
1.1x0,87x0,7	190	342	13	0,17	306	23	0,28	504	215	25	64,7
0,8x0,87x0,7	100	180	8	0,1	180	12	0,14	252	160	18	40,0
0,8x0,87x0,7	100	180	8	0,1	180	12	0,14	252	160	18	40,0
Congeladores con Eficiencia Energética											
1,67x0,87x0,7	1250	2250	100	1,25	2250	130	1,63	2934	320	37	30,4
1,67x0,87x0,7	1250	2250	100	1,25	2250	130	1,63	2934	320	37	30,4
1.1x0,87x0,7	690	1242	55	0,69	1242	70	0,88	1584	215	25	27,5
1.1x0,87x0,7	690	1242	55	0,69	1242	70	0,88	1584	215	25	27,5
Refrigeradores/Congeladores con Eficiencia Energética											
1,67x0,87x0,7	770	1386	62	0,77	1386	82	1,02	1836	167	37	32,5
1,67x0,87x0,7	770	1386	62	0,77	1386	82	1,02	1836	167	37	32,5
1,59x0,87x0,7	490	882	40	0,48	864	58	0,7	1260	300	35	45,8
1,59x0,87x0,7	490	882	40	0,48	864	58	0,7	1260	300	35	45,8
1,25x0,87x0,7	300	540	24	0,29	522	39	0,47	846	320	28	62,1
1,25x0,87x0,7	300	540	24	0,29	522	39	0,47	846	320	28	62,1

*Para el cálculo del consumo anual se utilizó el valor de 150 h/mes de funcionamiento del refrigerador

**Todos los modelos están disponibles en 12 voltios DC, 24 voltios DC, 110 AC o 220 AC. Los consumos de energía indicados en la tabla son para unidades de 12 voltios; las unidades

3.5 Factor de emisión de CO2

El factor de emisión de CO2 que se presenta en este documento es el resultado del factor de emisión de CO2 de la energía eléctrica del Sistema Interconectado Nacional - SIN de Colombia, el cual considera la generación de las plantas de proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), además de otros proyectos de mayor eficiencia económica que traen como consecuencia ahorro en el consumo [71]. Este factor de emisión se puede utilizar para el cálculo de la línea base de proyectos energéticos, de acuerdo con la metodología establecida por la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC siglas en ingles)

Luego de los análisis correspondientes que se manejan en el documento para el cálculo del factor de emisión en Colombia [71], y considerando una muestra del 20% de la generación del año 2008 ordenando las plantas de generación de acuerdo con la fecha de entrada comercial, se determina el factor de emisión del margen de construcción en un valor de 0.2375 kg de CO2/kWh.

En el documento también se presenta el factor de emisión del margen combinado, determinando un valor de 0.2849 kg de CO2/kWh.

Para el caso de la variable establecida en el modelo desarrollado se utilizará el factor de emisión del margen combinado ya que considera distintos factores que hacen que los resultados sean mucho más cercanos a la realidad.

3.6 Factor adicionales considerados en el modelo

3.6.1 Factor de selección para la aplicación del plan de renovación

En vista de que el plan considera subsidios dirigidos a la población de los estratos 1, 2 y 3, se han establecido una serie de requisitos que se deben cumplir para ser candidato a beneficiarse con un equipo de refrigeración eficiente, entre los requisitos establecidos se pueden identificar los siguientes:

- Estar al día en los pagos del consumo energético con la empresa comercializadora de energía eléctrica
- Tener una secuencia de cumplimiento en los pagos de al menos 6 consecutivos

Estos requisitos y otros determinan un factor de selección para la aplicación de un 80%, siendo un 20% de solicitudes negadas.

3.6.2 Tasa de descalificados

Considerando que el 20% de las solicitudes para ser beneficiados serían negadas y proyectando que un 5% de las solicitudes negadas cumplirán con los requisitos faltantes se establece que la tasa de descalificados será del 15%.

3.6.3 Factor de hogares nuevos formados en Colombia

Se ha considerado que 10.882.445 habitantes de la población colombiana se encuentran en las edades entre 20 y 34 años, ver tabla 3.9.

Tabla 3-9 Número de personas por grupo de edad al 2013 en Colombia Fuente: DANE

Número de personas por grupo de edad al 2013 en Colombia							
	Total	20 a 24	%	25 a 29	%	30 a 34	%
TOTAL	46.666.577	3.916.855	8,4	3.473.062	7,4	3.492.528	7,5
CABECERA	35.989.742	3.082.705	8,6	2.802.299	7,8	2.827.775	7,9
RESTO	10.676.835	834.150	7,8	670.763	6,3	664.753	6,2

Esto significa que existe la posibilidad de contar con aproximadamente 5.441.222 posibles hogares nuevos, de acuerdo a las estadísticas de matrimonios celebrados en Colombia para el año 2013, los cuales llegan a 55.000 y considerando una cantidad igual de uniones de hecho o uniones libre que están por ese mismo número, entonces se puede establecer que aproximadamente el 2% de los 5.441.222, será la cantidad de hogares nuevos que se formarán por año en Colombia, esto es 108.824 hogares nuevos por año. Por otro lado haciendo una relación con toda la población se puede obtener el factor de hogares nuevos formados en Colombia que llegaría a ser de 0.00233 o 0.233%.

3.6.4 Factor de decisión de compra de refrigerador por hogares nuevos

De acuerdo a la situación económica de la población colombiana ubicada en los estratos 1, 2 y 3, se estima que del 100% de hogares nuevos formados el 80% estará en la capacidad de realizar la compra de una nevera nueva, el 20% restante dejará para hacerlo en los siguientes años consecutivos.

3.6.5 Factor de refrigeradores nuevos por hogares nuevos

Del 100% de hogares nuevos que decidieron la compra de un refrigerador el 90% adquiere un refrigerador nuevo y el 10% compra un refrigerador usado.

3.6.6 Factor de publicidad del estado para adquirir refrigeradores nuevos (renovación voluntaria)

En un estudio de publicidad de merchandising visual, el modelo destaca elementos claves para la toma de decisiones en el punto de venta; entre los que se cuentan la decoración del lugar, las promotoras de ventas, el tipo de publicidad; los resultados llevan a concluir que el 28% de los clientes siempre cambia o toma su decisión por efecto de la publicidad o del merchandising visual, llegando incluso a 61 %, considerando a quienes cambian su decisión de forma ocasional [72]. En vista de que en el caso de un refrigerador está involucrado un monto alto que de hecho limita una decisión de compra inmediata, se puede considerar que

la publicidad del programa de etiquetado RETIQ, datos de eficiencia energética y la implementación de un plan de renovación de refrigeradores eficientes por ineficientes, incidirá a que la población colombiana realice una renovación voluntaria de su refrigerador doméstico nuevo en un 1% del total equivalente de hogares existentes en Colombia.

3.6.7 Factor de paso por años de vida útil de un refrigerador

El modelo presenta variables que determinan la cantidad de refrigeradores por grupo de años de vida útil que existen en los hogares colombianos, es así que se puede contabilizar grupos de edad de 0 a 5 años, de 6 a 10 años, de 11 a 15 años, de 16 a 20 años, de 21 a 25 años y de más de 25 años. Por lo que se considera que del total de refrigeradores que ingresa a un grupo de edad, estos se mantienen en dicho grupo por máximo de 5 años, luego de esto todos los que ingresen en tal o cual grupo, pasan a un siguiente grupo de clasificación, por lo que si el plan se evalúa en 10 años, el factor de paso por años de vida de un refrigerador será del 50%.

3.6.8 Factor de daño de un refrigerador por grupo de vida útil

El modelo presenta distintos valores para este factor, los cuales dependen del grupo de vida útil en el que se encuentre el refrigerador doméstico, es así que para el grupo de 0 a 5 años el factor de daño es de 4.45%, esto como el resultado de un promedio de daño de un refrigerador nuevo que podría ser del 1% hasta uno de 5 años que puede llegar a ser del 8%.

En este mismo sentido se ha planteado para el resto grupos de refrigeradores de acuerdo al de vida útil en el que se encuentre (ver tabla 3.10).

Tabla 3-10 Factor de daño de un refrigerador por vida útil. Fuente: Autor

Factor de daño de refrigeradores por vida útil		
Grupo	Años de vida útil	Factor de daño %
A	0 a 5	4.45
B	6 a 10	17.8
C	11 a 15	41.6
D	16 a 20	57
E	21 a 25	80
F	Más de 25	95

3.6.9 Probabilidad de reparación y probabilidad de daño severo

Se ha considerado en el modelo una probabilidad de reparación del 70% ya que la probabilidad de daño severo se la estima en un 30%, esto hace que los refrigeradores con

daño severo sean candidatos para que se integren en el grupo de refrigeradores a ser chatarrizados.

3.6.10 Porcentaje de existencia de refrigeradores por grupo de vida útil en los hogares colombianos

Partiendo de que en Colombia existen 10 millones de refrigeradores que se encuentran funcionando, además haciendo una analogía de lo que se establece en un estudio del potencial de ahorro energético por la sustitución de refrigeradores en México [37] y sobre todo por lo establecido por el PROURE de que entre 3 y 4 millones de refrigeradores tienen más de 20 años de vida útil, se ha podido establecer los porcentajes de existencia de refrigeradores por grupo de vida útil de acuerdo a lo establecido en la tabla 3.10.

Tabla 3-11 Porcentaje de existencia de refrigeradores en los hogares colombianos por vida útil. Fuente: Autor

Porcentaje de existencia de refrigeradores		
Grupo	Años de vida útil	%
A	0 a 5	20
B	6 a 10	20
C	11 a 15	20
D	16 a 20	10
E	21 a 25	22
F	Más de 25	8

3.6.11 Valor de consumo de energía eléctrica por grupo de vida útil del refrigerador

Un refrigerador doméstico Sun Frost RF12-DC Refrigerator/Freezer de 693 litros en adelante que se encuentra en condiciones de uso de 0 a 5 años de operación puede llegar a consumir hasta 540 kWh/año; uno de 6 a 10 años de operación puede llegar a consumir hasta 630 kWh/año; uno de 11 a 15 años de operación puede llegar a consumir hasta 950 kWh/año; uno de 16 a 20 años de operación puede llegar a consumir hasta 1100 kWh/año y uno de 21 a 25 años de operación puede llegar a consumir hasta 1540 kWh/año, todos en condiciones de operación en clima frío.

Para tratar de modelar lo más cercano a la realidad, cada uno de los valores de consumo se fueron ubicando por año de vida útil de acuerdo a lo presentado en las figuras 3.5 a 3.9.

Es así que se ha establecido un valor de consumo de energía eléctrica de 480 kWh/año para un refrigerador nuevo y eficiente, mismo que a medida que pasan los años este llega a consumir hasta 540 kWh/año cuando tiene 5 años de operación (ver figura 3.5).

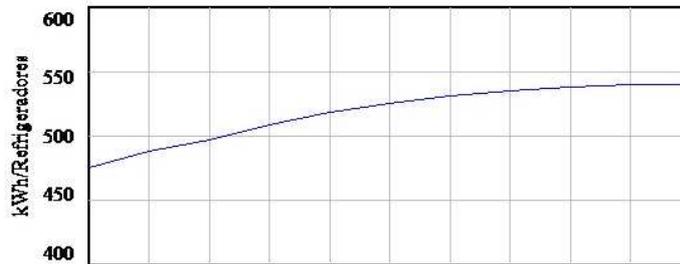


Figura 3.5 Valor de consumo eléctrico de un refrigerador de 0 a 5 años de vida útil Grupo A. Fuente: Autor.

El mismo refrigerador llega a consumir 480kWh/año cuando ha cumplido 6 años de operación; de acuerdo a la clasificación planteada este ha ingresado al grupo B de 6 a 10 años de vida útil (ver figura 3.6).

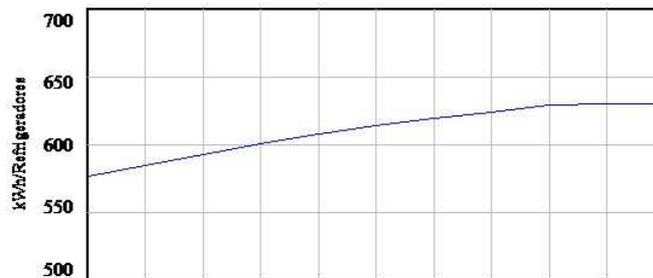


Figura 3.6 Valor de consumo eléctrico de un refrigerador de 6 a 10 años de vida útil. Grupo B. Fuente: Autor.

El mismo refrigerador llega a consumir 690 kWh/año cuando ha cumplido 11 años de operación; de acuerdo a la clasificación planteada este ha ingresado al grupo C de 11 a 15 años de vida útil (ver figura 3.7).

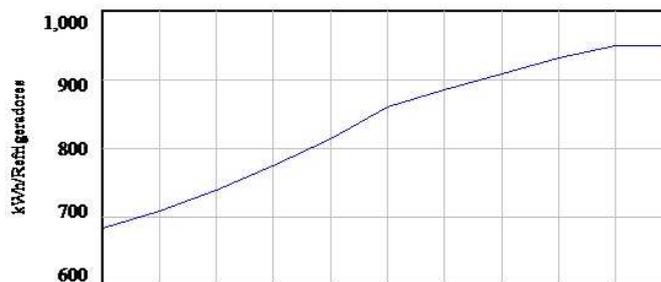


Figura 3.7 Valor de consumo eléctrico de un refrigerador de 11 a 15 años de vida útil. Grupo C. Fuente: Autor.

El mismo refrigerador llega a consumir 1010 kWh/año cuando ha cumplido 16 años de operación; de acuerdo a la clasificación planteada este ha ingresado al grupo D de 16 a 20 años de vida útil (ver figura 3.8).

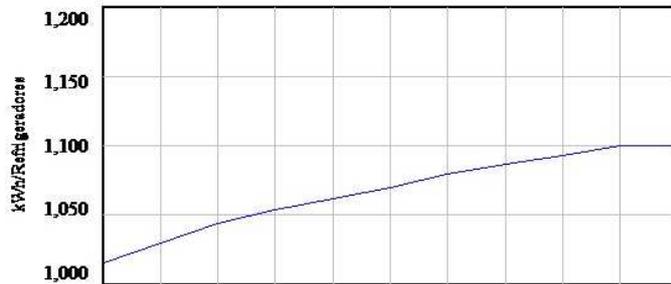


Figura 3.8 Valor de consumo eléctrico de un refrigerador de 16 a 20 años de vida útil. Grupo D. Fuente: Autor.

El mismo refrigerador llega a consumir 1260 kWh/año cuando ha cumplido 21 años de operación; de acuerdo a la clasificación planteada este ha ingresado al grupo E de 21 a 25 años de vida útil (ver figura 3.9).

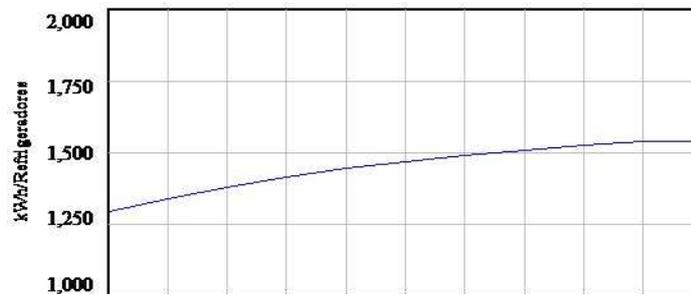


Figura 3.9 Valor de consumo eléctrico de un refrigerador de 21 a 25 años de vida útil. Grupo E. Fuente: Autor.

El consumo de energía eléctrica de un refrigerador doméstico es variable y esta variación depende de factores, como el estado de funcionamiento en el que se encuentre el equipo, el tamaño del refrigerador, los hábitos de uso a los que se le someta y el piso térmico en el que se encuentre funcionando principalmente.

En las gráficas 3.5 a 3.9 se consideraron únicamente la variación del consumo de energía eléctrica de acuerdo a la vida útil en la que se encuentren funcionando en un piso térmico frío, por lo que a estos valores se les realiza un ajuste por piso térmico.

CAPITULO 4: MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS.

En este capítulo, se plantea y desarrolla un modelo de simulación de Dinámica de Sistemas utilizando el software libre Vensim® PLE, el cual modela el comportamiento del plan de sustitución de neveras en los hogares colombianos, permitiendo de esta forma analizar el consumo de energía por utilización de refrigeradores domésticos en Colombia, considerando los grupos de refrigeradores por vida útil existentes y los pisos térmicos en los que se encuentran; además se analiza las emisiones de carbono generadas por el uso de neveras. Se establece un primer análisis de acuerdo al entorno del caso base llamado escenario 1. De esa manera se cumple con el objetivo específico: “Modelar y simular las dinámicas endógenas y exógenas”.

4.1 Estructura del Modelo

El modelo creado es una combinación de las estructuras físicas del funcionamiento de los refrigeradores domésticos en los hogares colombianos; el número existente total, el consumo eléctrico de acuerdo al rango vida útil y piso térmico en el que se encuentre, la posibilidad de sustituir e introducir refrigeradores eficientes mediante incentivos y motivacionales por medio de la publicidad y normativas de EE, son algunas de las variables consideradas.

El modelo establecido considera entre otros aspectos, el arquetipo de límites de crecimiento (ver anexo B), el cual al implementar distintas realimentaciones que vinculan variables endógenas y exógenas, llevan a las variables de acumulación a presentar resultados muy próximos a la realidad, lo cual permite hacer proyecciones que incluyen escenarios distintos con hipótesis que se basan sobre todo en la racionalidad limitada¹, asumiendo que ninguna toma de decisiones es óptima.

4.1.1 Simplificaciones, supuestos y límites del modelo

Un modelo es siempre una simplificación del mundo real. El objetivo no es modelar todos los detalles involucrados en el plan de renovación de refrigeradores domésticos. La clave para un modelo útil es la capacidad de hacer simplificaciones razonables; el objetivo es modelar las partes y estructuras más importantes del sistema. También se establecerán muchos supuestos en el modelo teniendo en cuenta tanto la estructura como las variables.

El modelado es un proceso iterativo y los puntos de vista y supuestos aplicados, de hecho se podrá cambiar y corregir si fuere necesario.

¹ Racionalidad limitada: proceso de decisión de un individuo considerando limitaciones cognoscitivas tanto de conocimiento como de capacidad computacional - la racionalidad personal está limitada por tres dimensiones: 1) la información disponible, 2) la limitación cognoscitiva de la mente individual y 3) el tiempo disponible para tomar la decisión.

Por las múltiples variables que se vinculan, ha sido necesario estructurar el modelo en distintas pantallas o vistas, que buscan obtener resultados en distintos temas como el número de refrigeradores existentes en los hogares colombianos, el número de refrigeradores existentes por grupos de vida útil y el consumo de energía eléctrica de los refrigeradores considerando el ciclo de vida útil en el que se encuentre y el piso térmico en el que funcione.

Las variables endógenas se consideran las más importantes, ya que dependen del estado del sistema, en cambio las variables exógenas afectan al sistema y no se ven influenciadas por los bucles de retroalimentación en el modelo, es decir, que no se ven afectadas por el estado del modelo.

En la tabla 4.1 se presenta el conjunto de variables tanto endógenas como exógenas de la pantalla refrigeradores nuevos, puntualizando cuales representan un stock y un flujo.

Las variables stock presentan las cantidades de refrigeradores nuevos adquiridos por los hogares colombianos de acuerdo a diversos aspectos como una renovación voluntaria por la formación de hogares nuevos, por la incorporación de un plan de renovación que contemple subsidios y beneficios y por la publicidad y reglamentos que se ejecuten por parte del gobierno.

*Tabla 4-1 Variables endógenas y exógenas establecidas en el modelo – pantalla 1.
Fuente: Autor*

No.	COMPONENTES ENDÓGENOS	COMPONENTES EXÓGENOS
1	Refrigeradores nuevos adquiridos por hogares nuevos formados (S)	Población de Colombia
2	Inc refrigeradores nuevos por hogares (F)	Evolución de la penetración de refrigeradores en Colombia
3	Dec refrigeradores nuevos por hogares (F)	Promedio de personas por hogar en Colombia
4	Refrigeradores nuevos por beneficiarios del plan (S)	Factor refrigeradores nuevos que demandan los hogares nuevos
5	Aplicaciones calificadas (F)	Factor hogares nuevos formados en Colombia
6	Aplicaciones descalificadas (F)	Factor decisión de compra de refrigerador para hogar nuevo
7	R nuevos a viejos (S)	Valor inicial refrigeradores nuevos por hogares nuevos
8	Refrigeradores nuevos adquiridos por publicidad motivacional del estado (S)	Factor de selección para aplicar al Plan de Renovación
9	Inc refrigeradores nuevos (F)	Tasa normal descalificados
10	Dec refrigeradores nuevos (F)	Valor inicial refrigeradores nuevos por beneficiarios del plan

11	Refrigeradores existentes en los hogares colombianos	Factor publicidad del estado para adquirir refrigeradores nuevos
12	Refrigeradores existentes y nuevos en los hogares colombianos	Valor inicial refrigeradores nuevos adquiridos por publicidad
13	Refrigeradores nuevos adquiridos por publicidad, plan y hogares nuevos	
14	Refrigeradores nuevos adquiridos por publicidad y hogares nuevos	
15	Total de refrigeradores nuevos adquiridos en el periodo analizado (S)	
16	Total de hogares en Colombia	
17	Aplicaciones planificadas Plan Renovación	
18	Inc del total de refrigeradores nuevos (F)	

En la tabla 4.2 se presenta el conjunto de variables tanto endógenas como exógenas de la pantalla vida útil de los refrigeradores, puntualizando cuales representan un stock y un flujo.

En el caso de esta pantalla, las variables stock presentan las cantidades de refrigeradores existentes por grupos de edad, determinando una dinámica anual de las cantidades de refrigeradores en el período de análisis.

Es conveniente mencionar que el grupo de vida útil de límite es el de 20 a 25 años de funcionamiento de un refrigerador, por lo que luego de que salga de este grupo se le considera en el modelo como un candidato a ser chatarrizado.

El contar con un stock que muestre la cantidad de refrigeradores obsoletos y candidatos a ser chatarrizados, es de mucha ayuda a la hora de establecer un plan de chatarrización.

*Tabla 4-2 Variables endógenas y exógenas establecidas en el modelo – pantalla 2.
Fuente: Autor*

No.	COMPONENTES ENDÓGENOS	COMPONENTES EXÓGENOS
1	Refrigeradores grupo A de 0 a 5 años (S)	Porcentaje de existencia de refrigeradores grupo A
2	Refrigeradores nuevos (F)	Probabilidad de reparación
3	Dec refrigerador de 0 a 5 (F)	Valor inicial refrigeradores grupo A
4	Refrigeradores grupo B de 6 a 10 años (S)	Factor de daño refig 0 a 5
5	Paso de A a B (F)	Porcentaje de existencia de refrigeradores grupo B
6	Dec refrigerador de 6 a 10 (F)	Factor de daño refig 6 a 10

7	Refrigeradores grupo C de 11 a 15 años (S)	Valor inicial refrigeradores grupo B
8	Paso de B a C (F)	Factor de paso por años de vida de grupo A a B
9	Dec refrigerador de 11 a 15 (F)	Factor de paso por años de vida de grupo B a C
10	Refrigeradores grupo D de 16 a 20 años (S)	Valor inicial refrigeradores grupo C
11	Paso de C a D (F)	Factor de daño refrig 11 a 15
12	Dec refrigerador de 16 a 20 (F)	Valor inicial refrigeradores grupo C
13	Refrigeradores viejos (F)	Factor de paso por años de vida de grupo C a D
14	Total de refrigeradores viejos (S)	Factor de daño refrig 16 a 20
15	Inc total de refrigeradores viejos (F)	Valor inicial refrigeradores grupo D
16	Refrigeradores potenciales para chatarrización (S)	Porcentaje de existencia de refrigeradores de más de 20 años
17	Refrigeradores obsoletos (F)	Factor de paso por años de vida de grupo D a viejos
18	Refrigeradores chatarrizados (F)	Probabilidad de daño severo
19	Refrigeradores dañados	Porcentaje de chatarrización

En la tabla 4.3 se presenta las variables tanto endógenas como exógenas de la pantalla consumo de energía eléctrica, puntualizando cuales representan un stock y un flujo.

En esta pantalla se puede determinar el consumo de energía eléctrica de los refrigeradores domésticos que existirán en Colombia por grupos de edad, el cuál es corregido con un factor que considera la variación del consumo de energía eléctrica por piso térmico en el que se encuentre funcionando el refrigerador doméstico.

*Tabla 4-3 Variables endógenas y exógenas establecidas en el modelo – pantalla 3.
Fuente: Autor*

No.	COMPONENTES ENDÓGENOS	COMPONENTES EXÓGENOS
1	Consumo de energía eléctrica por uso de refrigeradores ineficientes (S)	Valor de consumo refrigerador de 0 a 5
2	Inc consumo de energía eléctrica (F)	Valor de consumo refrigerador de 6 a 10
3	Dec consumo de energía eléctrica (F)	Valor de consumo refrigerador de 11 a 15

4	Emisiones totales de CO2 por energía consumida por el uso de refrigeradores (S)	Valor de consumo refrigerador de 16 a 20
5	Inc emisiones CO2 (F)	Valor de consumo refrigerador de 21 a 25
6	Dec emisiones CO2 (F)	Porcentaje de ahorro de energía proyectado
7		Valor inicial del consumo de EE
8		Factor de emisión para el margen de operación
9		Factor de mejoramiento de la tecnología en generación de energía eléctrica
10		Valor inicial de emisiones de CO2

En la tabla 4.4 se presenta el conjunto de variables tanto endógenas como exógenas de la pantalla pisos térmicos, puntualizando cuales representan un stock y un flujo.

La forma en la que se involucra la influencia de los pisos térmicos en el modelo, está representada por un factor de corrección al consumo de energía eléctrica, el cual se calcula relacionando el consumo de energía eléctrica de los refrigeradores domésticos considerando vida útil y piso térmico y el consumo de energía eléctrica considerando que toda la población de refrigeradores domésticos existentes en los hogares colombianos son eficientes.

*Tabla 4-4 Variables endógenas y exógenas establecidas en el modelo – pantalla 4.
Fuente: Autor*

No.	COMPONENTES ENDÓGENOS	COMPONENTES EXÓGENOS
1	Consumo de energía eléctrica de refrigeradores por pisos térmicos (S)	Valor de consumo del refrigerador - frio
2	Consumo por piso térmico frio 12 - 17°C	Valor de consumo del refrigerador - templado
3	Consumo por piso térmico templado >17 - 24°C	Valor de consumo del refrigerador - cálido
4	Consumo por piso térmico cálido > 24°C	Factor de población de refrigeradores piso térmico cálido

5	Factor de corrección de consumo de energía eléctrica por piso térmico (S)	Factor de población de refrigeradores piso térmico templado
6		Factor de población de refrigeradores piso térmico frío
7		Valor de consumo de un refrigerador eficiente.

4.2 Diagramas causales

Se plantean las relaciones causales que se establecen en el modelo, mismas que explican cada una de las pantallas con los que se construyó el modelo general de simulación que evalúa el Programa de Uso Eficiente de Energía en Equipos de Refrigeración Doméstica, que considera el tamaño y conformación de la estructura económica, la distribución poblacional, y sobre todo aspectos climáticos que determinan una diferencia sustancial en el consumo eléctrico de los refrigeradores de acuerdo al piso térmico en el que esté funcionando. Los módulos establecidos en el modelo son los siguientes:

- Refrigeradores nuevos adquiridos
- Vida útil de los refrigeradores
- Consumo de energía eléctrica de los refrigeradores
- Pisos térmicos

4.2.1 Diagrama causal del módulo de refrigeradores nuevos adquiridos

Este diagrama está compuesto por varios ciclos de realimentación, estableciéndose ciclos de balance en las variables que determinan el crecimiento de los refrigeradores nuevos adquiridos por hogares nuevos, por el plan de renovación y por publicidad de parte del estado y un ciclo de refuerzo en lo que respecta al total de refrigeradores existentes en los hogares colombianos (ver figura 4.1).

4.2.2 Diagrama causal del módulo de vida útil de los refrigeradores.

Este diagrama está compuesto por varios ciclos de realimentación, estableciéndose ciclos de balance en las variables que determinan las cantidades de refrigeradores existentes en cada grupo clasificado por vida útil esto es: 0 a 5 años, 6 a 10 años, 11 a 15 años, 16 a 20 años y 21 a 25 años (ver figura 4.2).

Por otro lado los ciclos de refuerzo establecen la cantidad de refrigeradores candidatos a ser chatarrizados y también la cantidad de refrigeradores dañados (ver figura 4.2).

4.2.3 Diagrama causal del módulo de consumo de energía eléctrica de los refrigeradores.

Este diagrama está compuesto por dos ciclos de realimentación, estableciéndose ciclos de balance en la determinación de la cantidad de energía eléctrica consumida por el uso de refrigeradores domésticos en Colombia y además la cantidad de toneladas de emisiones de CO₂ por la cantidad de energía eléctrica generada que abastezca el consumo energético de los refrigeradores domésticos en funcionamiento (ver figura 4.3).

4.2.4 Diagrama causal del módulo de pisos térmicos

Este diagrama está compuesto por dos ciclos de realimentación, estableciéndose ciclos de balance en la determinación del consumo de energía eléctrica por uso de refrigeradores domésticos considerando el piso térmicos en el que se encuentran funcionando y la determinación del factor de corrección de consumo de energía eléctrica por piso térmicos (ver figura 4.4).

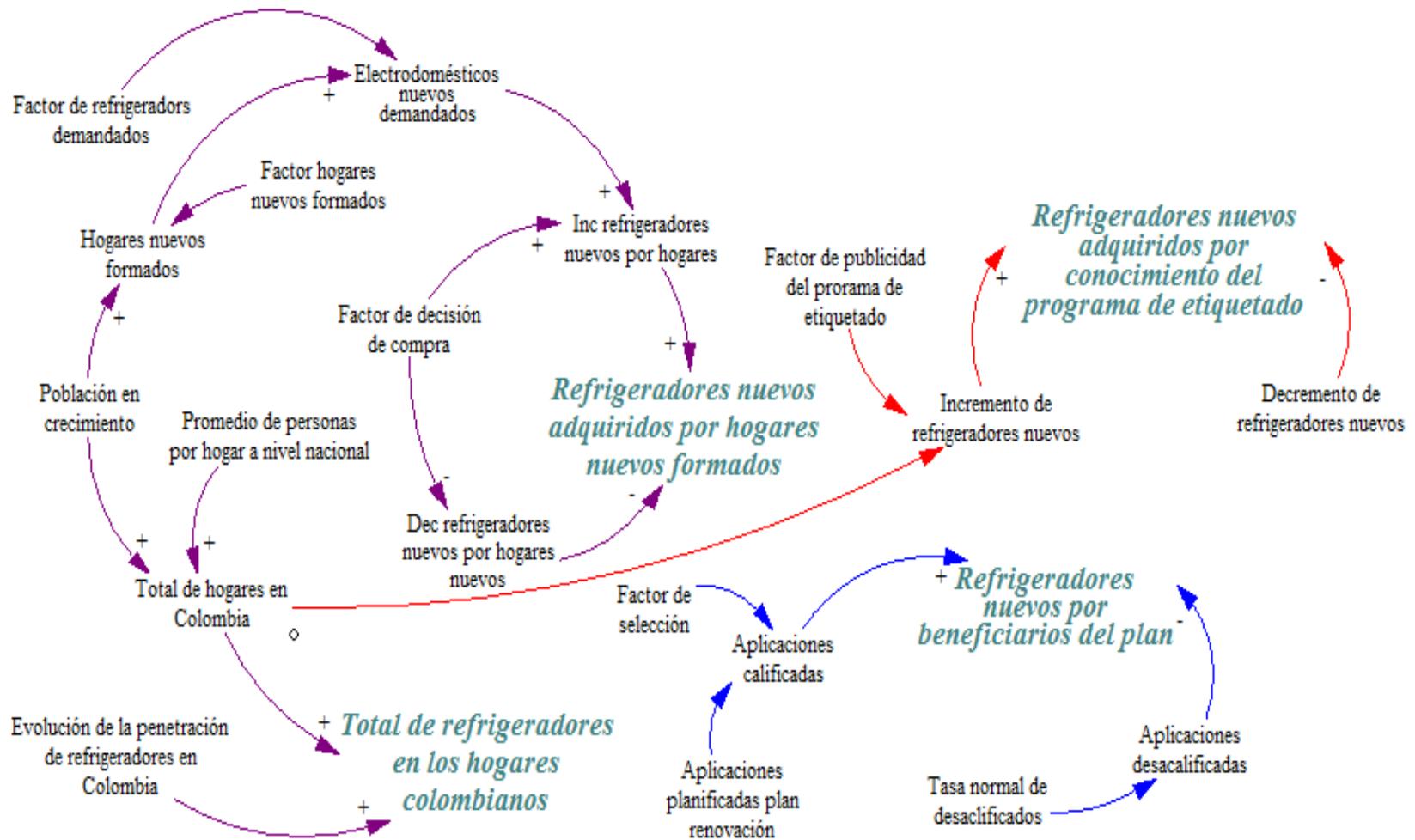


Figura 4.1 Diagrama causal que determina la cantidad de refrigeradores nuevos adquiridos. Fuente: Autor

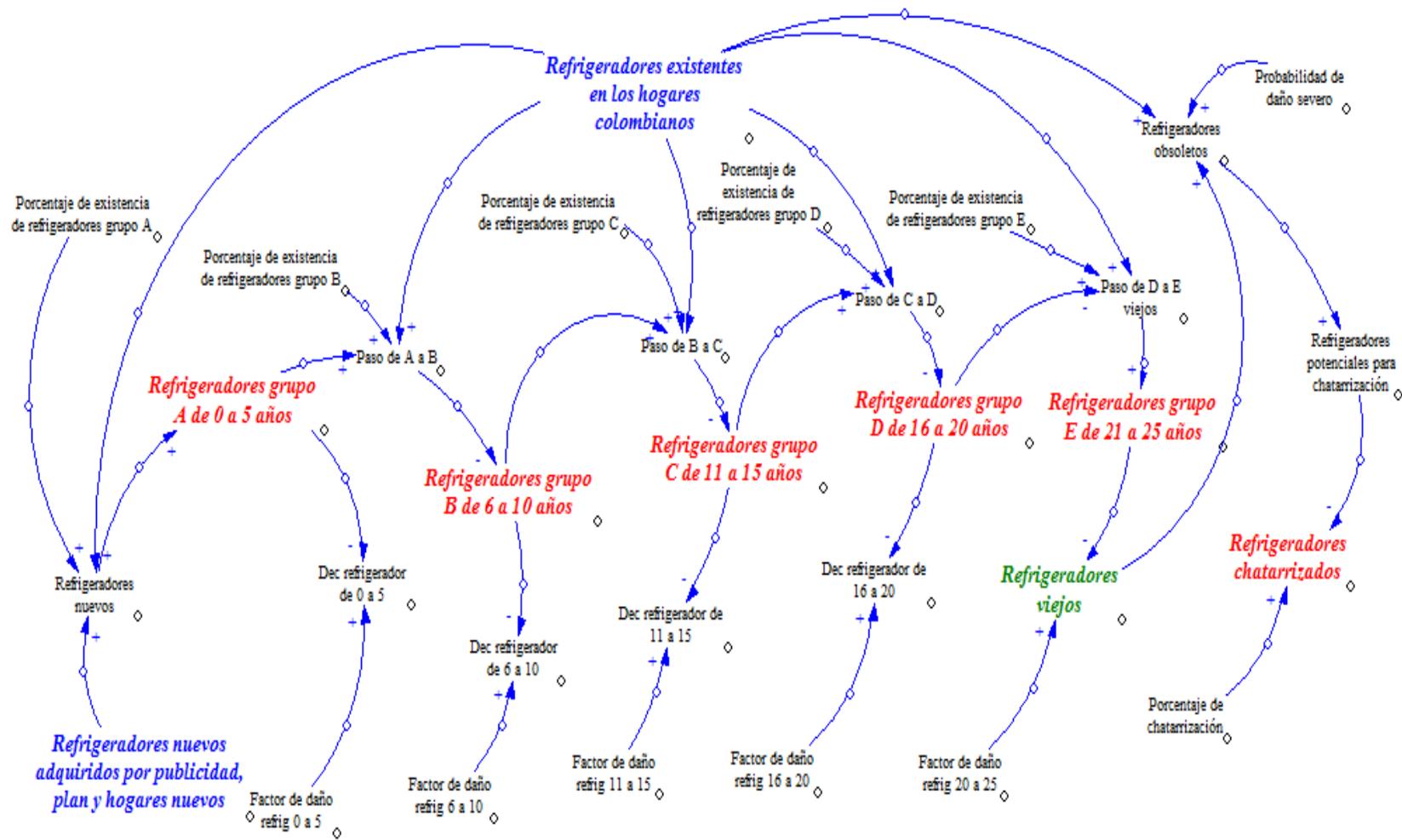


Figura 4.2 Diagrama causal que determina la cantidad de refrigeradores por grupo de vida útil. Fuente: Autor

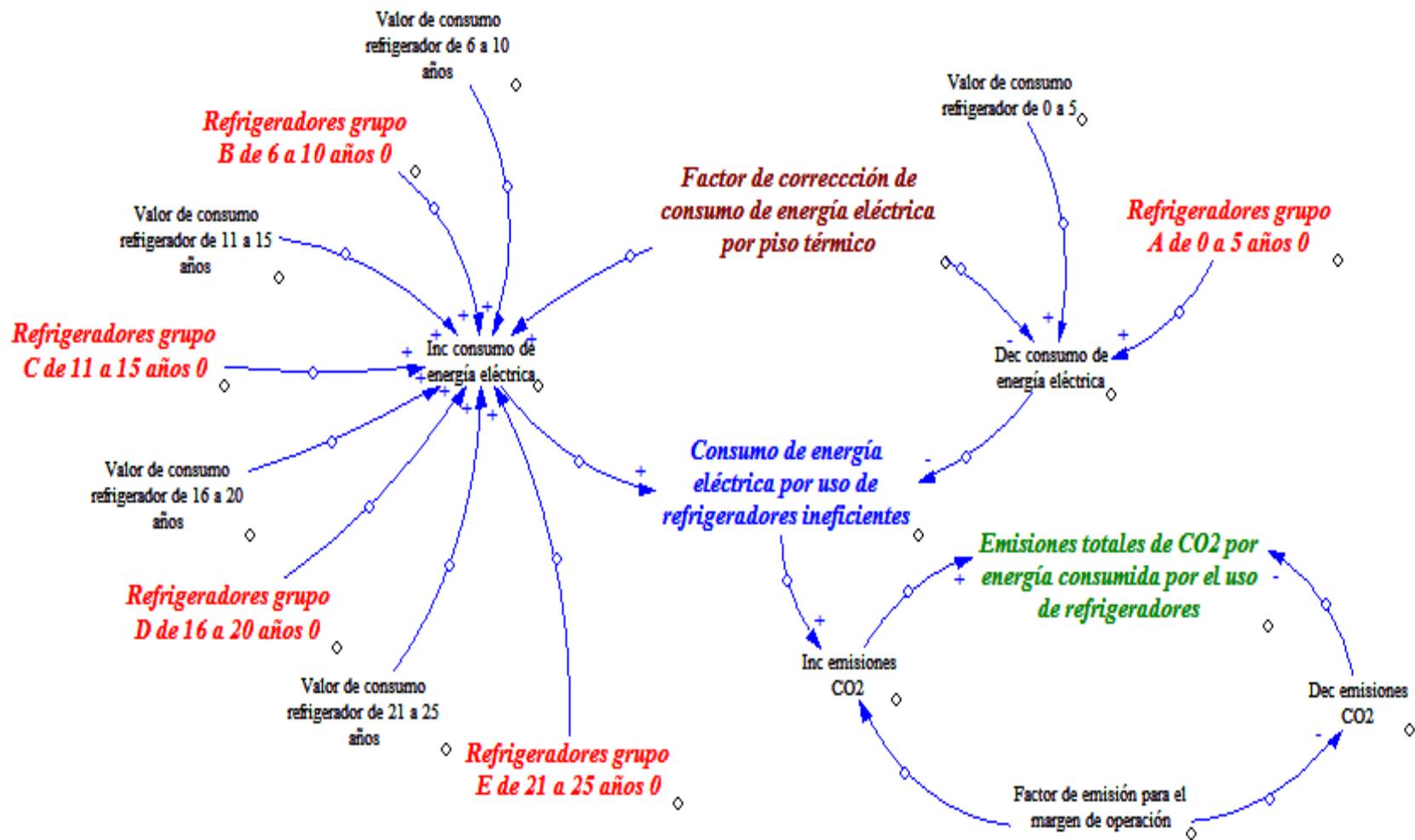


Figura 4.3 Diagrama causal que determina el consumo de energía eléctrica de los refrigeradores. Fuente: Autor

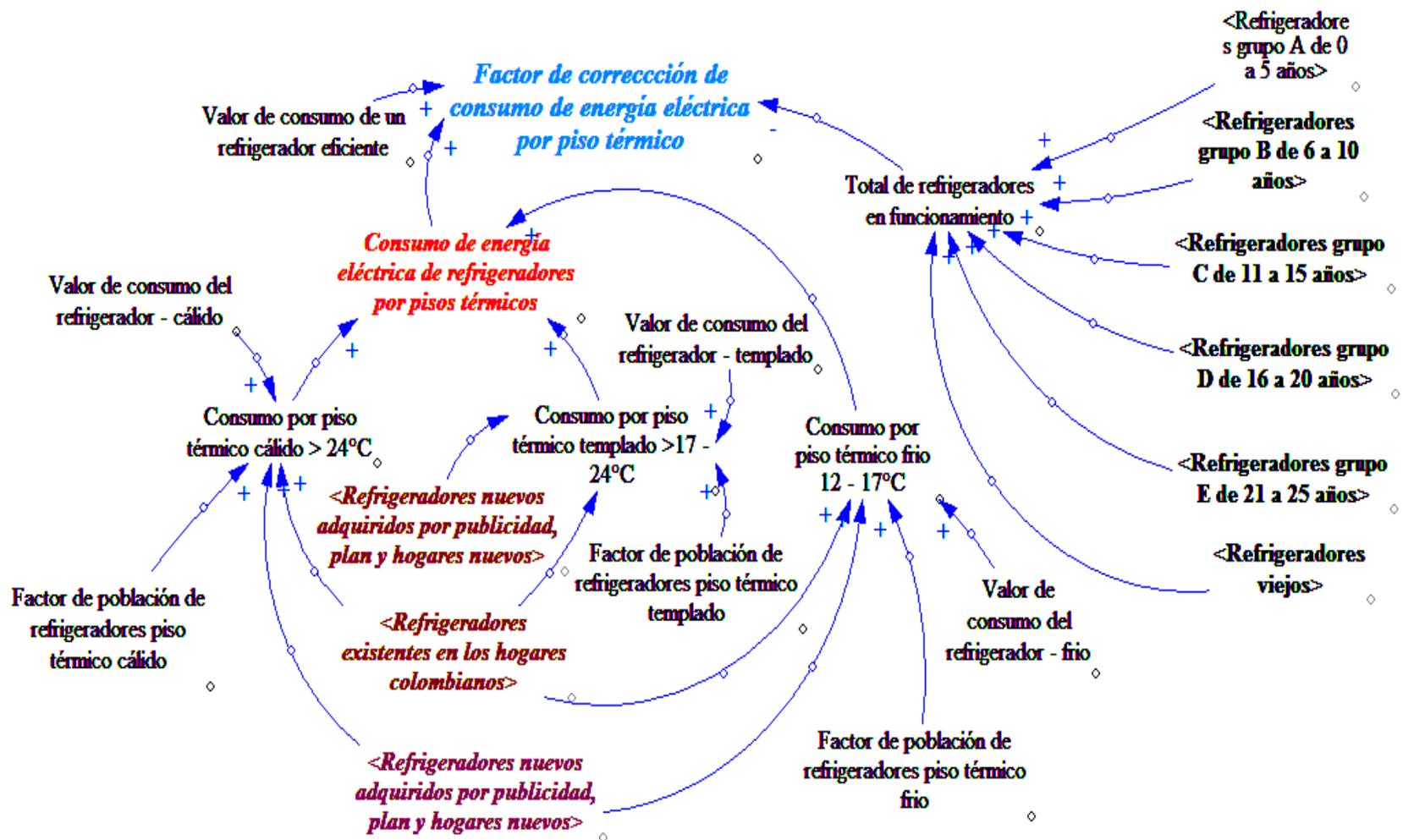


Figura 4.4 Diagrama causal que determina el consumo de energía eléctrica por piso térmico. Fuente: Autor

4.3 Resultados de la simulación – Situación actual

Se establece como situación actual, la implementación del total del plan de renovación de refrigeradores domésticos con subsidios económicos por parte del gobierno hacia los hogares de los estratos 1, 2 y 3 de la población Colombiana.

Para efectos de análisis a este escenario se le conocerá como escenario 1. En este escenario se considera un plan de renovación de refrigeradores domésticos, con alcance a renovar 4.000.000,00 de refrigeradores domésticos en Colombia con una inversión de 1.540 millones de dólares en 10 años a fin de ejecutar el proyecto de sustitución al 2023,

El modelo inicia en el año 2013 con metas de renovación de refrigeradores domésticos por año, considerando que en el año 2013 no se renova ningún equipo de refrigeración, por cuanto en dicho año se arranca con todo el proceso que implica la implementación del plan.

Para el año 2014 se proyecta renovar 330.000 unidades, alcanzando el pico máximo de unidades en el año 2017, con una proyección de renovación de 560.000 unidades eficientes.

En la figura 4.5 se puede observar la planificación general en los 10 años proyectados para el plan de renovación.

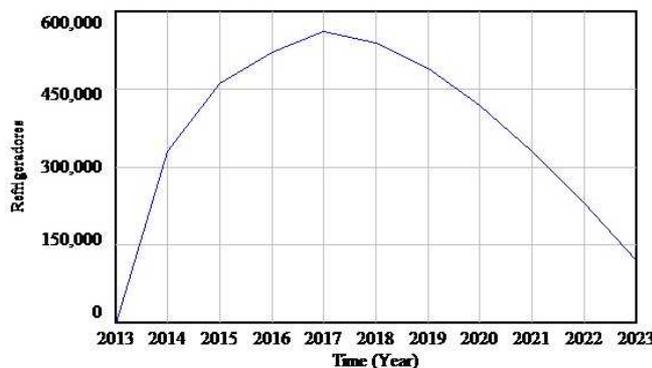


Figura 4.5 Aplicaciones Planificadas Plan de Renovación. Fuente: Autor

Se considera que el factor de selección de la población clasificada en los estratos 1, 2 y 3, para la aplicación al plan de renovación será de un 80%, ya que uno de los requisitos que se establecen en este escenario es el cumplimiento con los pagos del servicio eléctrico a tiempo en al menos 6 meses consecutivos, representando uno de los limitantes para acceder a los beneficios establecidos en el plan.

Por otro lado se ha considerado una tasa de descalificados del 25% por año, que corresponde al número de aplicaciones que no cumplen con los requisitos establecidos en el programa, representados en el factor de selección y otros adicionales.

Con el factor de selección para la aplicación del plan y la tasa de descalificados, se obtienen las cantidades por año de refrigeradores nuevos renovados por el plan correspondiente al escenario 1 (ver figura 4.6).

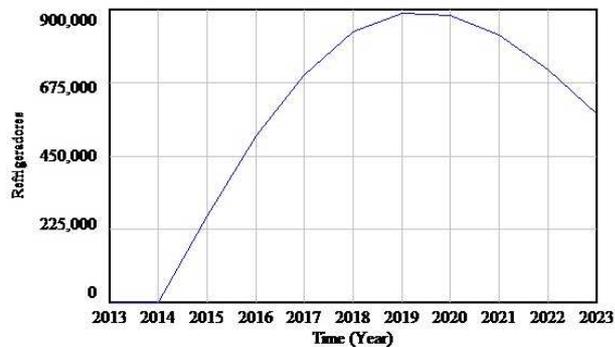


Figura 4.6 Refrigeradores nuevos por beneficiarios del plan. Fuente: Autor

En la figura 3.6 se puede observar que desde el año 2014, en el que arranca el plan de renovación, se presenta un crecimiento de las cantidades de refrigeradores nuevos por año hasta el año 2019 con 889.624 refrigeradores domésticos nuevos introducidos en los hogares colombianos.

Otro de los stocks analizados es el de refrigeradores nuevos adquiridos por hogares nuevos formados, este considera los siguientes factores:

- Factor hogares nuevos formados en Colombia, se ha considerado que 10.882.445 habitantes de la población colombiana se encuentra en las edades entre 20 y 34 años, eso significa que existe la posibilidad de contar con aproximadamente 5.441.222 posibles hogares nuevos y de allí que el 2% forme un hogar entonces significa que habrá 108.824 hogares nuevos por año en relación a toda la población; esto significa un 0.00233 o 0.233% con respecto al total de la población colombiana.
- Factor refrigeradores nuevos que demandan los hogares nuevos, se considera que del 100% de hogares nuevos formados por año en Colombia existe una demanda del 90% de refrigeradores nuevos.
- Factor decisión de compra de refrigerador para hogar nuevo, se considera que del 100% de electrodomésticos nuevos demandados, el 80% realiza la compra y el resto espera un siguiente año para hacerlo.

Con estos factores vinculados al total de la población en Colombia se obtienen el número de refrigeradores nuevos adquiridos por hogares nuevos formados por año, (ver figura 4.7).

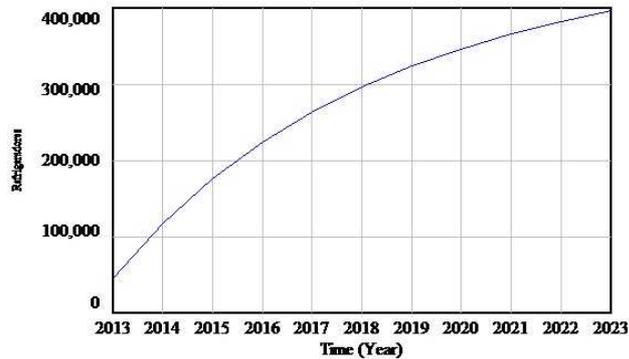


Figura 4.7 Refrigeradores nuevos adquiridos por hogares nuevos formados. Fuente: Autor

Si en Colombia se establece una campaña que considere el cambio en los hábitos de uso de los refrigeradores domésticos, concienciación del gasto de energía eléctrica en el uso de refrigeradores domésticos, comparación del gasto de energía eléctrica entre refrigeradores eficientes energéticamente y refrigeradores con más de 10 años de uso y otros más, se puede conseguir que los hogares colombianos realicen una renovación voluntaria de su refrigerador doméstico en el caso en el que su refrigerador se encuentre en los grupos de electrodomésticos ineficientes.

Se conoce que en estudios de merchandising, el 28% de los clientes siempre cambia o toma su decisión por efecto de la publicidad o del merchandising visual, llegando incluso a 61% si se considera que hay personas que cambian su decisión de forma ocasional.

En este sentido y en vista de que en el caso de un refrigerador se involucra un monto alto inicial, se considera que el factor publicidad del estado para adquirir refrigeradores nuevos incidirá para que el 1% del total de hogares en Colombia adquieran un refrigerador nuevo.

Con este valor se puede determinar la cantidad anual de refrigeradores domésticos que serán renovados voluntariamente por los hogares colombianos en función de la publicidad que se establezca por parte del gobierno, (ver figura 4.8).

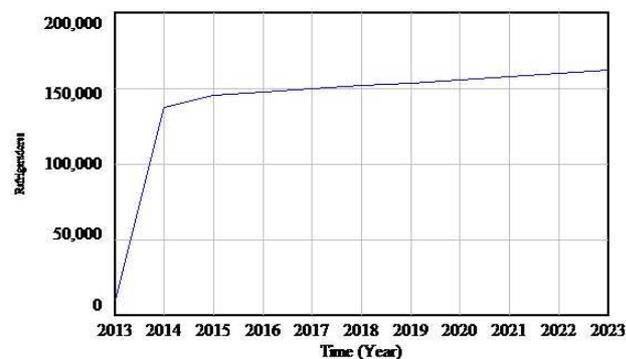


Figura 4.8 Refrigeradores nuevos adquiridos por publicidad motivacional del estado. Fuente: Autor

El modelo presenta para el escenario 1 un total de refrigeradores nuevos que ingresarán a las familias colombianas por los distintos aspectos considerados como la formación de hogares nuevos, influencia de la publicidad y normativas y la incorporación del plan de renovación. Esto da la posibilidad de totalizar los refrigeradores nuevos en el período de estudio (ver figura 4.9)

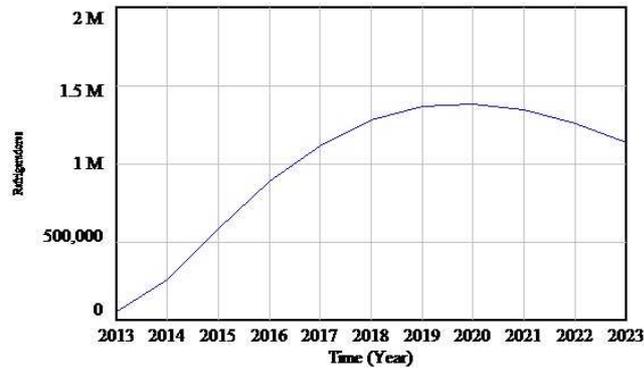


Figura 4.9 Refrigeradores nuevos adquiridos por publicidad, plan y hogares nuevos. Fuente: Autor

No se cuenta con un estudios actuales y sobre todo de proyección para determinar con exactitud la evolución de la penetración de refrigeradores en Colombia en el período de estudio, sin embargo y en función de los datos presentados en el informe de Gestión de Residuos Electrónicos en Colombia [68], se ha podido establecer que para el 2010 la penetración de neveras ya llegaba al 76.5% de los hogares y con datos anteriores se proyecta al año 2023 los valores indicados en la figura 4.10.

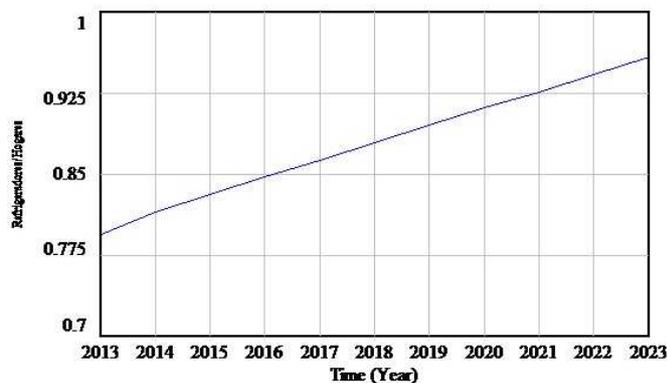


Figura 4.10 Evolución de la penetración de refrigeradores en Colombia. Fuente: Autor

En función de la penetración e refrigeradores se ha podido determinar en el modelo para el escenario 1 la cantidad de refrigeradores que estarán en los hogares colombianos para el periodo de análisis (ver figura 4.11), teniendo que para el 2015 existirán aproximadamente 15.000.000 de refrigeradores domésticos.

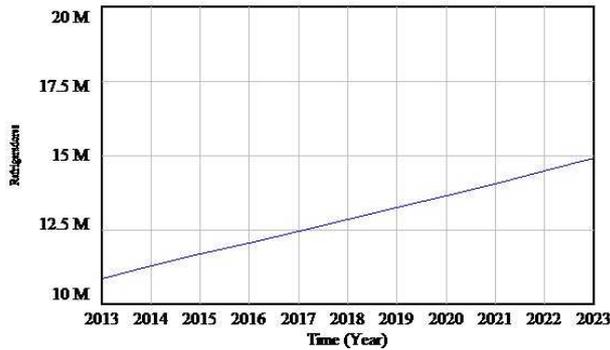


Figura 4.11 Refrigeradores existentes en los hogares colombianos. Fuente: Autor

De acuerdo a estudios realizados por la Unidad de Planeación Minero Energético (UPME) y la Unidad Técnico Ozono (UTO), en Colombia existen entre 3 y 4 millones de refrigeradores domésticos que fueron fabricados con CFCs y que aún están en uso, esto quiere decir que en el país existen aproximadamente un 22% de refrigeradores que se encuentran en edades de uso de entre 21 y 25 años y un 8% de más de 25 años.

Con estos datos y considerando lo establecido en un estudio para la sustitución de refrigeradores domésticos en México [37], se establece que en Colombia el 20% de los refrigeradores poseen una vida útil de entre 0 a 5 años, el 20% de los refrigeradores poseen una vida útil de entre 6 a 10 años, el 20% de los refrigeradores poseen una vida útil de entre 11 a 15 años y el 10% de los refrigeradores poseen una vida útil de entre 16 a 20 años.

En las figuras 4.12 a la 4.16 se pueden observar la proyección por edades de uso de refrigeradores existentes en los hogares colombianos para el período de estudio en el escenario 1.

En la figura 4.12 se observa un crecimiento acelerado de refrigeradores en el grupo de edad de 6 a 10 años con una proyección para el año 2023 de 4.000.000 de refrigeradores que se encuentren en este grupo de edad en los hogares colombianos.

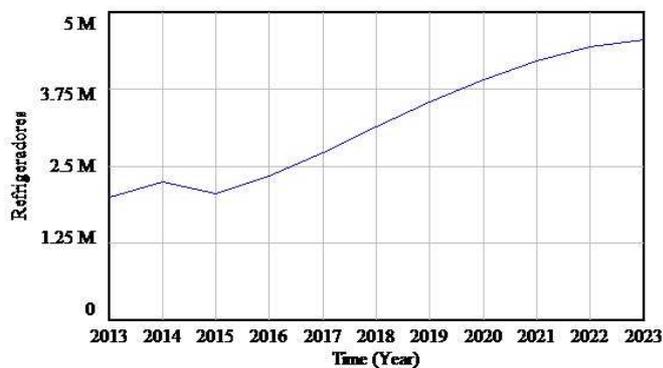


Figura 4.12 Refrigeradores grupo A de 0 a 5 años. Fuente: Autor

En la figura 4.13 se observa un crecimiento moderado de refrigeradores en el grupo de edad de 6 a 10 años con una proyección para el año 2023 de 3.200.000 de refrigeradores que se encuentren en este grupo de edad en los hogares colombianos.

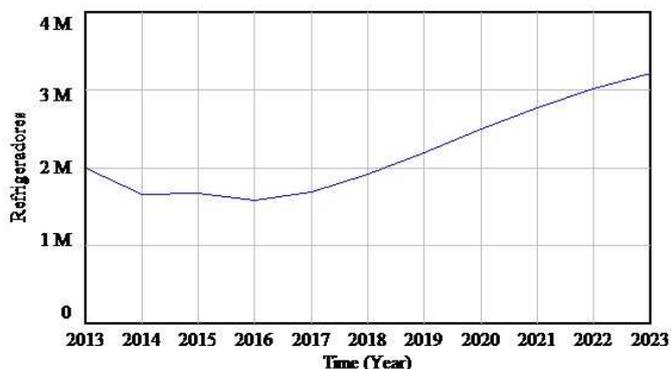


Figura 4.13 Refrigeradores grupo B de 6 a 10 años. Fuente: Autor

En la figura 4.14 se observa un crecimiento moderado de refrigeradores en el grupo de edad de 11 a 15 años con una proyección para el año 2023 de 3.100.000 de refrigeradores que se encuentren en este grupo de edad en los hogares colombianos.

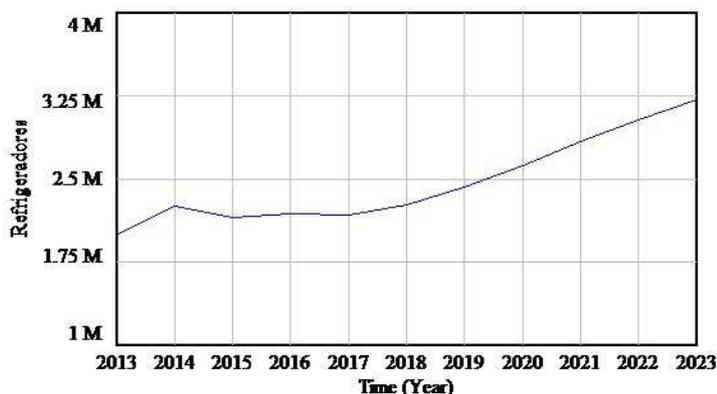


Figura 4.14 Refrigeradores grupo C de 11 a 15 años. Fuente: Autor

En la figura 4.15 se observa como decrece rápidamente de un 1.000.000 de refrigeradores en el año 2013 a valores de inexistencia al siguiente año. Este resultado nos da a entender que en el período de análisis prácticamente desaparecerán de los hogares colombianos, refrigeradores que se encuentren en el grupo de 16 a 20 años de vida útil.

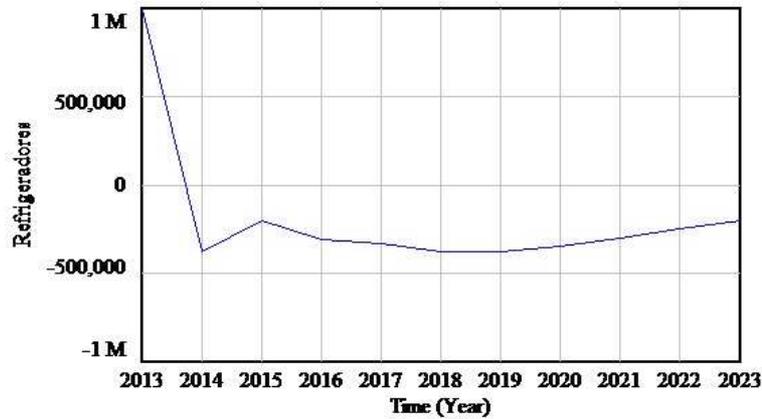


Figura 4.15 Refrigeradores grupo D de 16 a 20 años. Fuente: Autor

En cambio a diferencia de los resultados de la gráfica anterior, se puede notar que el grupo de refrigeradores domésticos que se encuentran entre los 21 y 25 se incrementará para llegar a tener en el año 2023 una cantidad que supera los 6.000.000 de refrigeradores domésticos.

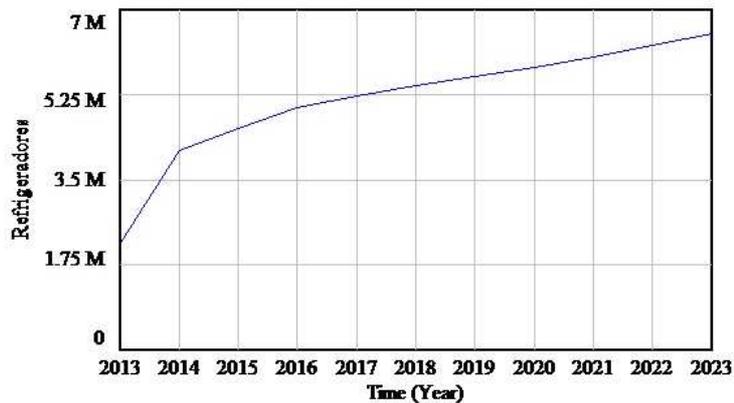


Figura 4.16 Refrigeradores grupo E de 21 a 25 años. Fuente: Autor

Como se pudo ver en la gráfica 4.16 los refrigeradores de 21 a 25 años sufrieron un incremento drástico en el período de análisis, dando como resultado un incremento de refrigeradores viejos, considerados como obsoletos y candidatos para ser chatarrizados. En este sentido el modelo permite conocer la cantidad de refrigeradores potenciales para ser chatarrizados en el período de análisis.

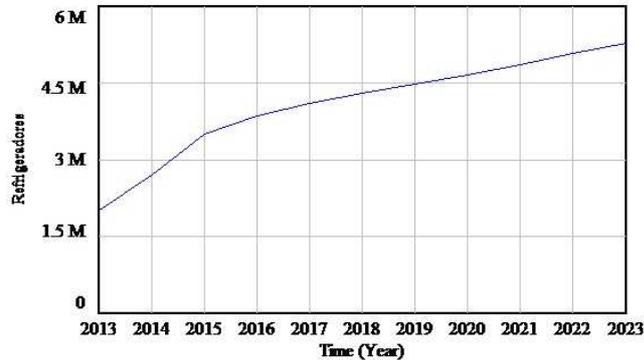


Figura 4.17 Refrigeradores potenciales para chatarrización. Fuente: Autor

Un refrigerador doméstico puede presentar una variación en el consumo de energía eléctrica por encontrarse funcionando en sitios en donde la temperatura ambiente es más elevada, es por eso que el modelo contempla el consumo de energía eléctrica por piso térmico. Llegando a consumir hasta un 60% más si se encuentra en un piso térmico cálido con temperaturas que superen los 30°C.

En la figura 4.18 se puede observar el factor de corrección por piso térmico, el cual se obtiene relacionando el consumo de energía eléctrica del total de refrigeradores que existen en Colombia como si fueran todos eficientes, con respecto al mismo total de refrigeradores pero agrupados por piso térmico y su variación en el consumo eléctrico.

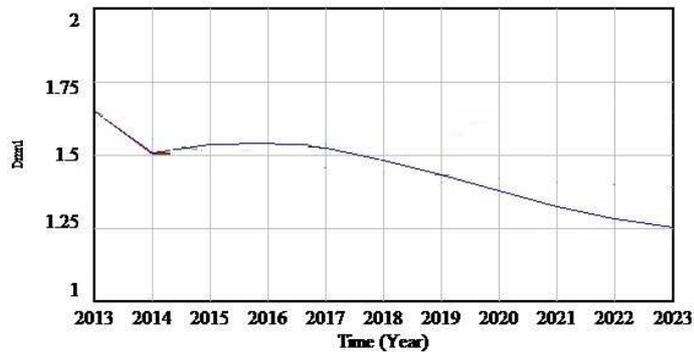


Figura 4.18 Factor de corrección de consumo de energía eléctrica por pisos térmicos. Fuente: Autor

En lo que respecta al consumo de energía eléctrica, se considera que un refrigerador – congelador de 693 litros de volumen, que se encuentren en condiciones de uso de 0 a 5 años de operación, puede llegar a consumir hasta 540 kWh/año, en condiciones de operación en clima frío, uno de 6 a 10 años de operación puede llegar a consumir hasta 630 kWh/año, uno de 11 a 15 años de operación puede llegar a consumir hasta 950 kWh/año, uno de 16 a 20 años de operación puede llegar a consumir hasta 1100 kWh/año y uno de 21 a 25 años de operación puede llegar a consumir hasta 1540 kWh/año.

Entonces el valor del consumo de energía eléctrica por uso de neveras en Colombia para el escenario 1 en el período de análisis se puede ver en la figura 4.19. Llegando a presentar valores de consumo al 2023 solo por uso de refrigeradores de hasta 22 TWh.

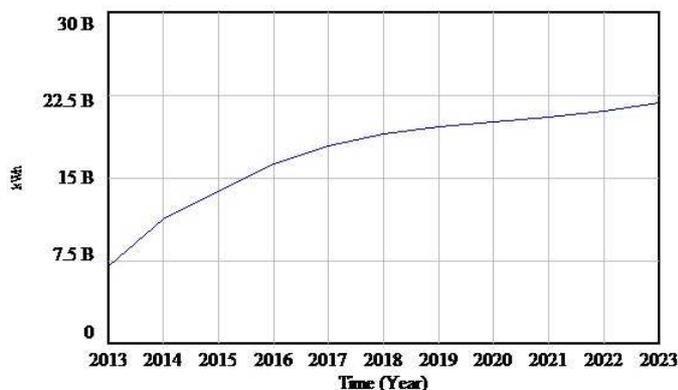


Figura 4.19 Consumo de energía eléctrica por uso de refrigeradores ineficientes. Fuente: Autor

Se presenta también el consumo de energía eléctrica por uso de refrigeradores domésticos en Colombia si todos los equipos estuvieran en rangos de consumo del grupo A de 0 a 5 años de vida útil, estos resultados se pueden observar en la figura 4.20.

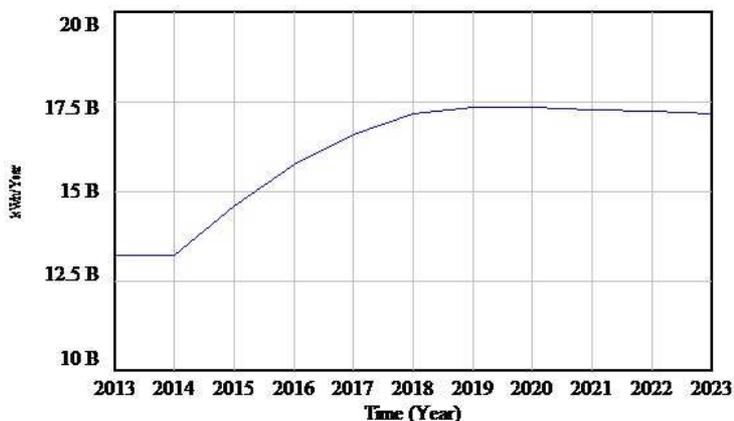


Figura 4.20 Consumo de energía eléctrica por uso de refrigeradores eficientes. Fuente: Autor

En lo que respecta a las emisiones de CO₂ y aplicando el factor de emisión calculado para el margen de operación de 0.2716 kg de CO₂/kWh, se tienen los valores del total de emisiones de CO₂ producidas por la cantidad de kWh (ver la figura 4.21), necesarios para el funcionamiento de los refrigeradores domésticos por año.

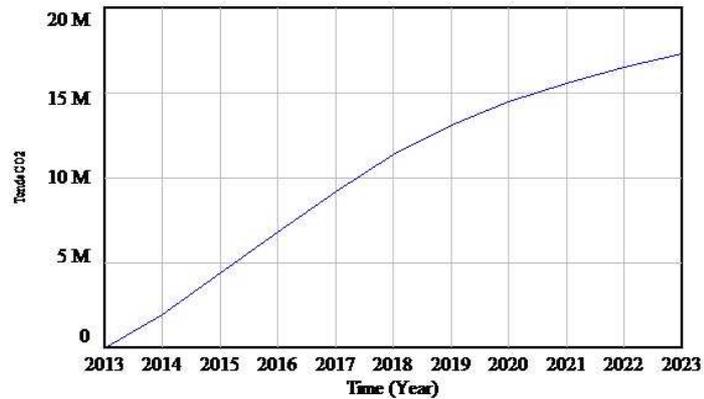


Figura 4.21 Emisiones totales de CO2 por energía consumida por el uso de refrigeradores. Fuente: Autor

Como se pudo observar, los resultados del análisis de cada una de las variables consideradas en el modelo obedecen principalmente a la política de eficiencia energética establecida por el gobierno colombiano de renovar los refrigeradores viejos e ineficientes que existen en los hogares (refrigeradores de hasta 30 años de funcionamiento) por refrigeradores nuevos y eficientes, con lo que se proyecta ahorros significativos de energía eléctrica que pueden llegar hasta el 18% en relación del consumo total de energía.

CAPITULO 5: ANALISIS DE RESULTADOS - ESCENARIOS

En este capítulo se presentan los resultados de la simulación, implementando las políticas establecidas en los escenarios 2, 3 y 4, los cuales afectan de manera directa en el consumo final de energía eléctrica por uso de refrigeradores domésticos en Colombia. Con esto se cumple con el objetivo específico planteado: “Hacer uso de escenarios para la explicación y comportamiento del modelo tanto en situaciones ideales, como en las mismas situaciones posibles dentro del caso de la aplicación del plan”.

5.1 Escenarios

La posibilidad de introducir otras alternativas de políticas en el modelo de simulación del plan de renovación de refrigeradores domésticos en Colombia, representa la validez y la importancia de construir modelos para garantizar que las circunstancias adversas que normalmente se presentan en la realidad puedan ser solventadas y sobre todo reconsideradas.

Para el caso de este proyecto se han planteado distintos escenarios, que han sido implementados en el modelo y de hecho han determinado algunos resultados que pueden influenciar en la toma de decisiones de los gobiernos. De los escenarios planteados ya se estudió el escenario 1 en el capítulo anterior, el cual se tomó como situación actual, para el caso de este capítulo se van a analizar los escenarios siguientes:

- Escenario 2 (E2).- Plan de marketing y motivación para que la población renueve su refrigerador viejo por un refrigerador eficiente y de costo competitivo; aplicando subsidios económicos por parte del gobierno dirigido a los fabricantes y distribuidores de refrigeradores domésticos.
- Escenario 3 (E3).- No existen subsidios por parte del gobierno para ningún sector y más bien se establecen exigencias a los fabricantes y distribuidores para que se produzca e importen refrigeradores domésticos de alta eficiencia (Retiq).
- Escenario 4 (E4).- No hay plan de renovación de refrigeradores domésticos eficientes, no se han establecido exigencias a los fabricantes para producir equipos eficientes y no existe mayor impulso por parte del estado para que la población renove sus refrigeradores viejos por nuevos.

5.2 Análisis de debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades de los escenarios planteados frente a los beneficios que se pueden conseguir en el consumo de energía eléctrica.

Escenario 1 (E1).- Implementación del plan de renovación de refrigeradores domésticos aplicando subsidios económicos para los hogares de los estratos 1, 2 y 3 de la población Colombiana.

Debilidad.- Al considerar un subsidio aplicado por refrigerador del 30% del costo, con un total de cuatro millones de refrigeradores domésticos a ser renovados en los 10 años, se estima un monto de inversión de 740 millones de dólares. Se considera esta acción como una debilidad por cuanto esta inversión debe ser financiada con recursos del estado.

Amenaza.- Por el monto de inversión se considera que el plan puede fracasar por problemas en el financiamiento.

Como el período de análisis es de 10 años, tiempo en el que se puede presentar el cambio de dos gobiernos, estos podrían cambiar las políticas establecidas eliminando quizá el financiamiento y haciendo que el plan se interrumpa o peor aún se elimine durante su proceso de implementación.

Fortalezas.- Este escenario tiene una gran fortaleza de tipo social, ya que apoya a las personas de los estratos sociales 1, 2 y 3 a mejorar su equipo de refrigeración doméstica y por ende a consumir menos energía eléctrica en los hogares.

Oportunidades.- Con la implementación de esta política energética se visualiza oportunidades de distinta índole, en el caso industrial se incrementaría la producción nacional, con todo lo que ello comprende y en el caso social representaría un ahorro significativo para los hogares colombianos, en el momento en el que comiencen a utilizar equipos eficientes.

Escenario 2 (E2).- Plan de marketing y motivación para que la población renueve su refrigerador viejo por un refrigerador eficiente y de costo competitivo; aplicando subsidios económicos por parte del gobierno dirigido a los fabricantes y distribuidores de refrigeradores domésticos.

Debilidad.- Se considera un aporte de 2 millones de dólares para cada una de las empresas fabricantes de refrigeradores domésticos, con la intención de que mejoren sus procesos productivos y se fabriquen refrigeradores eficientes con etiqueta A+++ equivalente a equipos europeos. En los 10 años, se estima un monto de inversión de 100 millones de dólares.

Monto que podría afectar otras inversiones por parte del estado.

Amenaza.- Por el monto de inversión se considera que el plan puede fracasar por problemas en el financiamiento ocasionado por un cambio de gobierno por ejemplo, ya que el período de análisis se ha establecido en 10 años. Además se puede intuir que el costo de los refrigeradores eficientes se elevarán y dificultándose la renovación voluntaria para muchas familias colombianas.

Fortalezas.- Este escenario tiene una gran fortaleza, ya que apoya a las industrias a mejorar sus procesos productivos y se puede considerar que esta estrategia tiene un efecto multiplicador pudiendo tener un gran impacto a nivel social.

Oportunidades.- Con la implementación de esta política energética se visualiza oportunidades de distinta índole, en el caso industrial se incrementaría la producción nacional, con todo lo que ello comprende y en el caso social representaría más oportunidades de trabajo sean estos directos o indirectos.

Escenario 3 (E3).- No existen subsidios por parte del gobierno para ningún sector y más bien se establecen exigencias a los fabricantes y distribuidores para que se produzca e importen refrigeradores domésticos de alta eficiencia (Retiq).

Debilidad.- En el mercado solo existirán refrigeradores de alto costo, ya que por las exigencias del estado, tanto fabricantes como distribuidores estarían comercializando refrigeradores de alta eficiencia energética.

La renovación voluntaria será cada vez menor por parte de los hogares colombianos

Amenaza.- Por las exigencias establecidas por el estado en cuanto mejorar la producción y alcanzar índices de eficiencia energética elevados, se corre el riesgo que los fabricantes hagan inversiones elevadas en sus plantas productivas y no tengan las ventas necesarias para financiar las mejoras, esto puede llevar a situaciones adversas de reducción de personal y corte de requerimientos a terceros.

Fortalezas.- La fortaleza que se puede identificar en este escenario es que el país tendrá la posibilidad de utilizar únicamente refrigeradores domésticos de alta eficiencia, mismos que incidirán en una reducción del consumo de energía eléctrica en la medida de que la población los vaya renovando.

Oportunidades.- Con la implementación de esta política energética se puede llegar a manejar estándares de eficiencia energética internacionales mejorando la imagen del país y sobre todo puntualizando la posibilidad de disminuir emisiones de CO₂.

Escenario 4 (E4).- No hay plan de renovación de refrigeradores domésticos eficientes, no hay exigencias a los fabricantes para producir equipos eficientes y no existe mayor impulso por parte del estado para que la población renove sus refrigeradores viejos por nuevos.

Debilidad.- En el mercado solo existirán refrigeradores de baja eficiencia.

Por la idiosincrasia de la población, se adquirirán una menor cantidad de refrigeradores nuevos por parte de los hogares colombianos ya que no se conoce nada sobre eficiencia energética y se mantiene el uso de refrigeradores de hasta 30 años de vida útil.

Amenaza.- El que la población cada vez más vaya teniendo refrigeradores viejos de hasta 30 años de vida útil en sus hogares, y todo lo que esto significa en el consumo de energía eléctrica, en la contaminación por gases refrigerantes en los mantenimientos, etc.

Fortalezas.- No se visualiza ninguna fortaleza en esta propuesta, que prácticamente significa el no hacer nada y continuar como estamos.

Oportunidades.- La oportunidad que se puede visualizar es en el incremento de microempresas de mantenimiento de refrigeradores viejos.

5.3 Resultados de la simulación considerando los escenarios.

5.3.1 Escenario 2 (E2)

Plan de marketing y motivación para que la población colombiana renueve su refrigerador viejo (de más de 15 años de vida útil) por un refrigerador eficiente y de costo competitivo; los costos competitivos se consiguen en función de subsidios económicos por parte del gobierno dirigido a los fabricantes y distribuidores de refrigeradores domésticos; esto significa que en el modelo no se considera el plan de renovación de refrigeradores domésticos, pero en lo que corresponde al impacto en la adquisición de refrigeradores nuevos por parte de la población podría elevarse ya que el motivante sería el costo competitivo de los refrigeradores, llegando a tener un factor de publicidad del 3%, esto da lugar a un crecimiento del número de refrigeradores nuevos adquiridos por la publicidad del estado (ver figura 5.1).

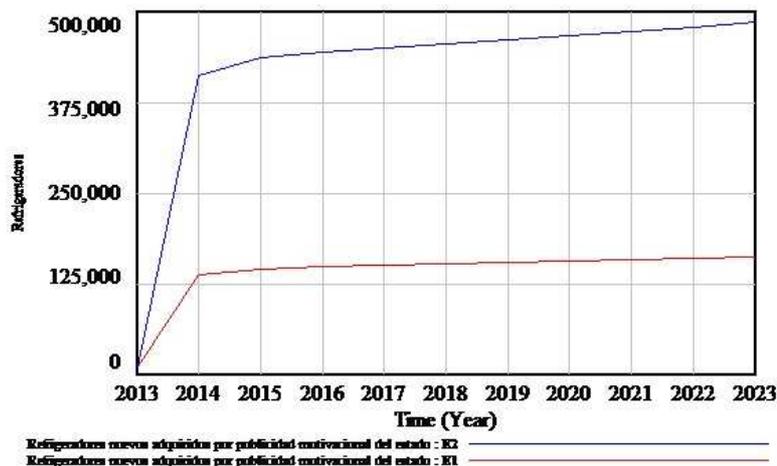


Figura 5.1 Refrigeradores nuevos adquiridos por publicidad motivacional del estado - E2.
Fuente Autor

Con estos ajustes al modelo se tiene el total de refrigeradores nuevos que ingresaran a las familias colombianas en el período de estudio, de acuerdo a la figura 5.2, los cuales son mucho menores a los que se presentan en el escenario 1.

El total de refrigeradores nuevos no superan los 900.000 en ningún año del período de análisis.

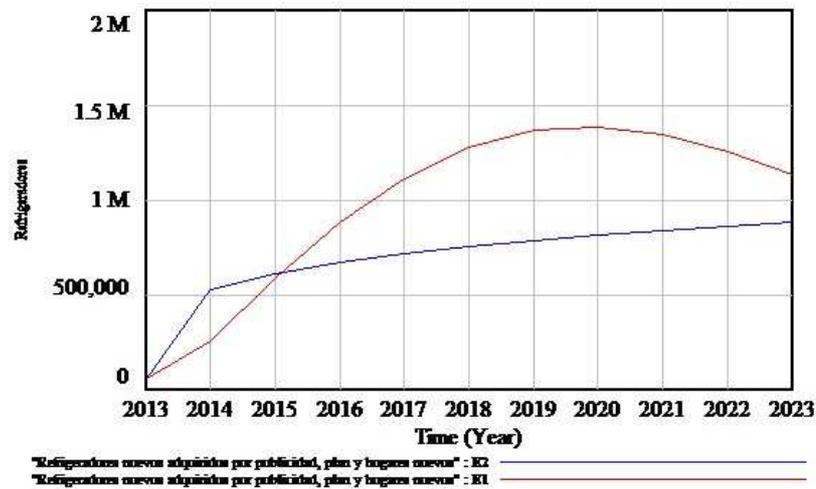


Figura 5.2 Refrigeradores nuevos adquiridos por publicidad, plan y hogares nuevos E2.
Fuente: Autor

Por otro lado en lo que respecta al número de refrigeradores por grupo de vida útil también se puede notar una disminución de hasta casi 2.000.000 de refrigeradores que pertenecen al grupo de 0 a 5 años de vida útil (ver figura 5.3).

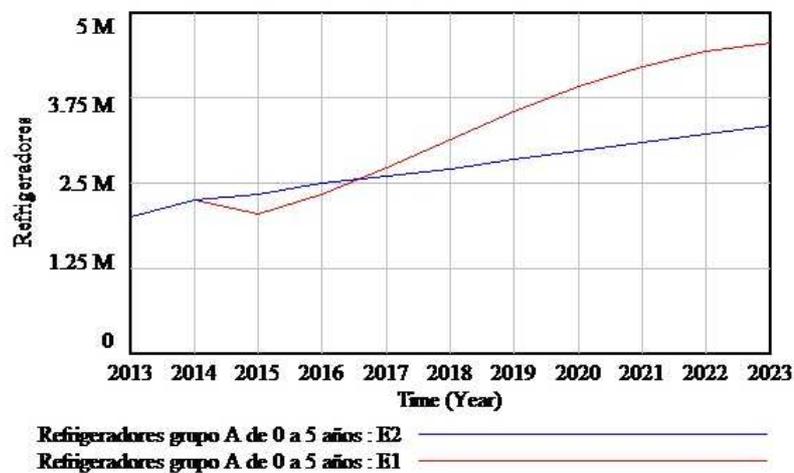


Figura 5.3 Refrigeradores grupo A de 0 a 5 años - E2. Fuente: Autor

Para el caso de los refrigeradores del grupo de 6 a 10 años, al igual que en el caso anterior también se visualiza una disminución considerable, sobre todo en los tres últimos años del período de análisis (ver figura 5.4).

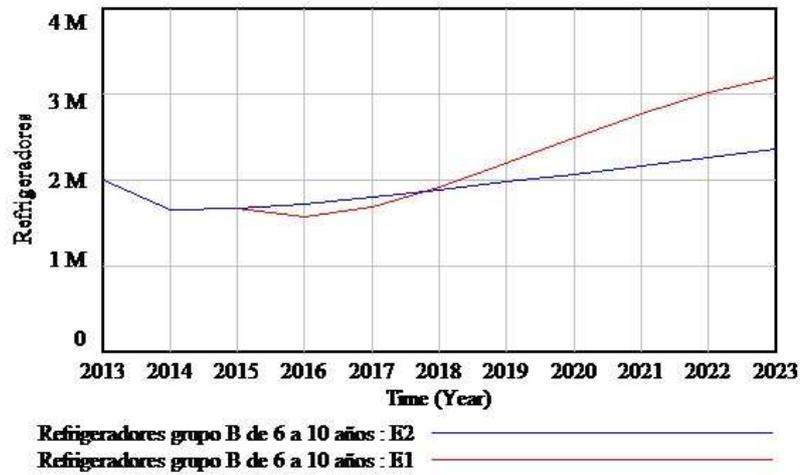


Figura 5.4 Refrigeradores grupo B de 6 a 10 años – E2. Fuente: Autor

En la figura 5.5 se ve ya que los valores se van estabilizando y la brecha de diferencia va disminuyendo, pareciéndose mucho a los resultados del escenario base, es decir que los refrigeradores del grupo de 11 a 15 de vida útil se mantienen en iguales condiciones hasta el año 2019.

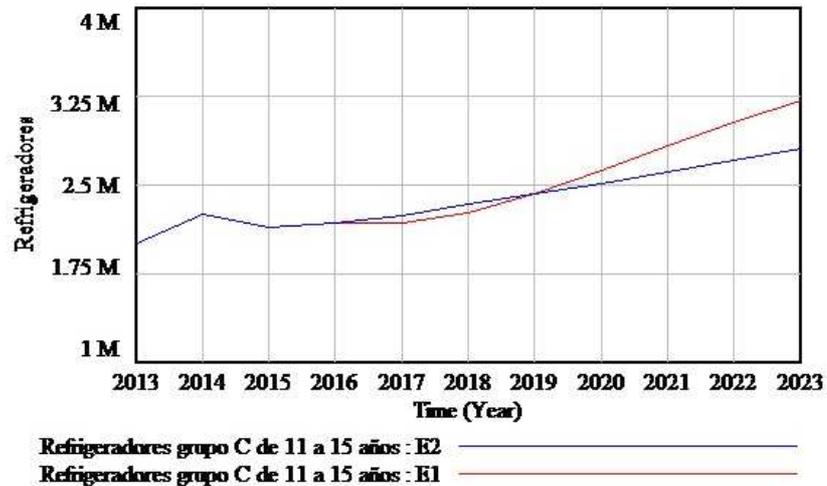


Figura 5.5 Refrigeradores grupo C de 11a 15 años - E2. Fuente: Autor

El comportamiento vuelve a repetirse en el grupo de refrigeradores de 16 a 20 años de vida útil (ver figura 5.6), en donde la brecha de diferencia va disminuyendo, pareciéndose mucho a los resultados del escenario base.

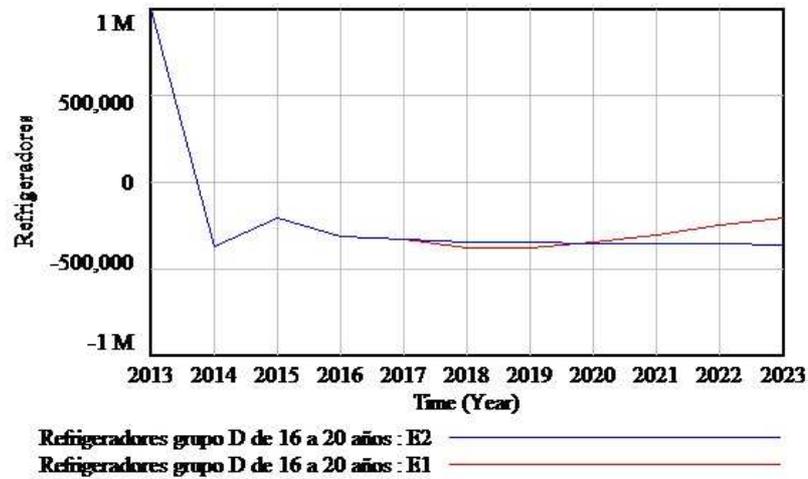


Figura 5.6 Refrigeradores grupo D de 16 a 20 años - E2. Fuente: Autor

En la figura 5.7 ya se puede notar que el escenario base (1) y el escenario 2 dan como resultado en este grupo de vida útil valores iguales de cantidades de refrigeradores existentes por año en el período de análisis.

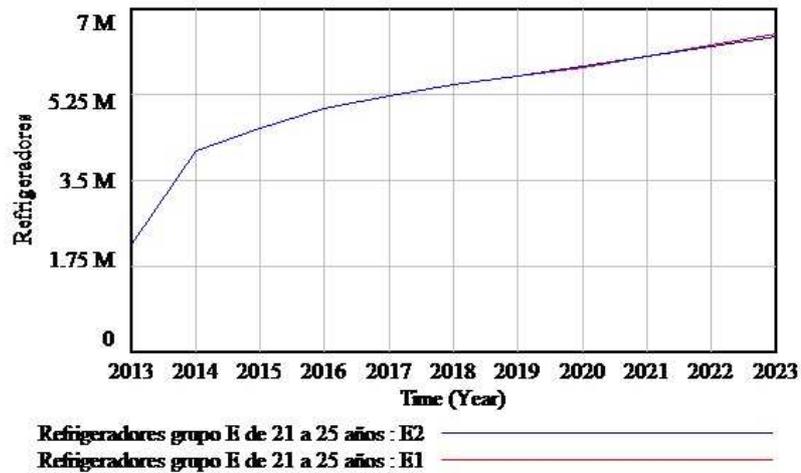


Figura 5.7 Refrigeradores grupo E de 21 a 25 años - E2. Fuente: Autor

En lo que respecta al consumo de energía eléctrica, en la aplicación de la política de eficiencia energética del escenario 2 analizado, se ha registrado un incremento en el consumo eléctrico de aproximadamente 2 TWh, lo que representa en un 10%.

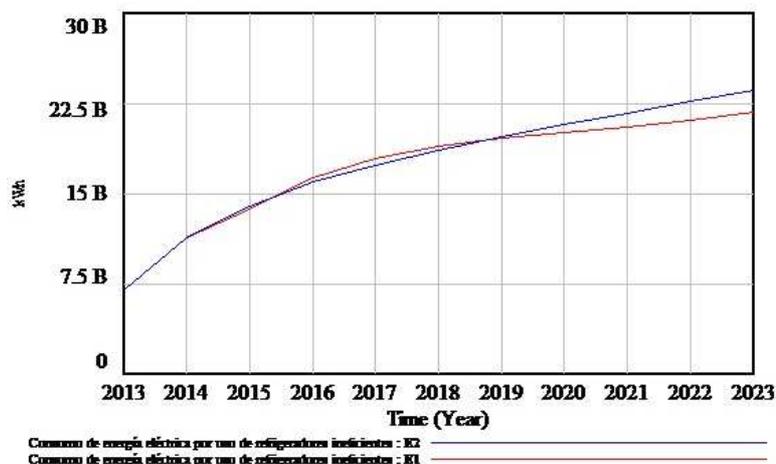


Figura 5.8 Consumo de energía eléctrica por uso de refrigeradores. Fuente: Autor

5.3.2 Escenario 3 (E3)

Este escenario se ubica en el plano pesimista, en donde los subsidios por parte del gobierno no existen para ningún sector y más bien se establecen exigencias a los fabricantes y distribuidores para que se produzca y se importe respectivamente refrigeradores domésticos de alta eficiencia en Colombia, las exigencias están en sintonía del Retiq.

Desde este punto de vista en el modelo no existe el plan de renovación y en lo que respecta al factor de publicidad de parte del gobierno y las exigencias planteadas en el Retiq, hace que dicho factor se ubique en valores inferiores al 0.5%, afectando de manera directa en la compra de refrigeradores eficientes por cuanto resultan ser mucho más costosos.

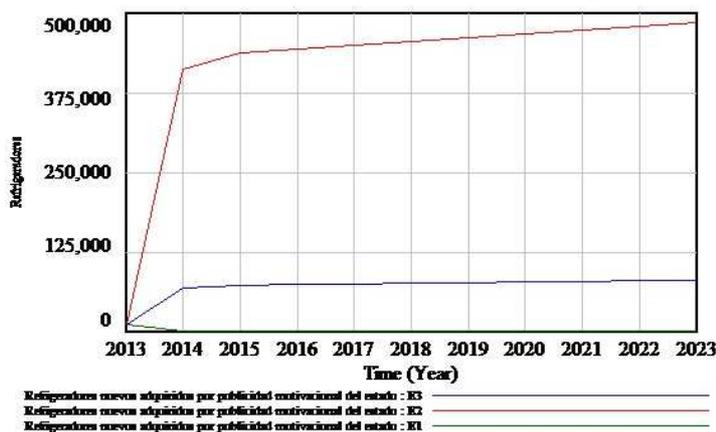


Figura 5.9 Refrigeradores nuevos adquiridos por publicidad motivacional del estado – E3. Fuente: Autor

En la figura 5.9 se puede observar que para este escenario se reduce drásticamente la cantidad de refrigeradores nuevos adquiridos por publicidad, plan y motivación del estado,

estabilizándose en valores inferiores a 80.000 unidades por año y para el período de análisis.

En la figura 5.10 se puede observar que la política establecida en el escenario 3 ha tenido una influencia radical en las cantidades anuales de refrigeradores nuevos adquiridos en los hogares colombianos, llegando al 2023 a presentarse en un total de 500.000 refrigeradores nuevos, versus el 1.400.000 que se alcanza al 2020 con la implementación de la política del escenario 1.

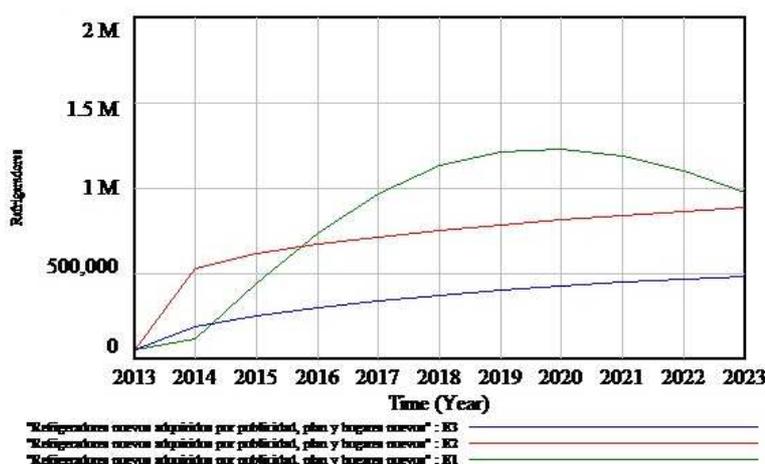


Figura 5.10 Refrigeradores nuevos adquiridos por publicidad, plan y hogares nuevos - E3.
Fuente: Autor

El total de refrigeradores nuevos que ingresarán a los hogares colombianos para el período de análisis no superara los 3.000.000 frente a los casi 9.000.000 de refrigeradores implementados en función de lo establecido en el escenario 1 (ver figura 5.11).

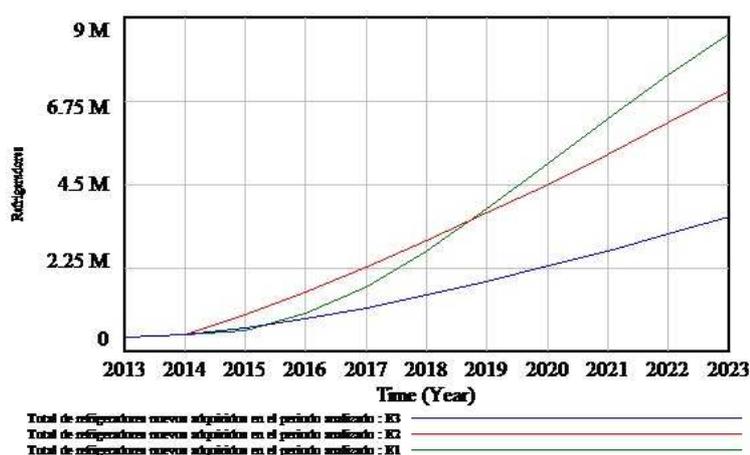


Figura 5.11 Total de refrigeradores nuevos adquiridos en el período analizado - E3.
Fuente: Autor

Para el caso de los grupos de vida útil en el escenario 3, se ha verificado una disminución de aproximadamente 3.000.000 de unidades con respecto al escenario 1 y de 2.000.000 de unidades con respecto al escenario 2 (ver figura 5.12).

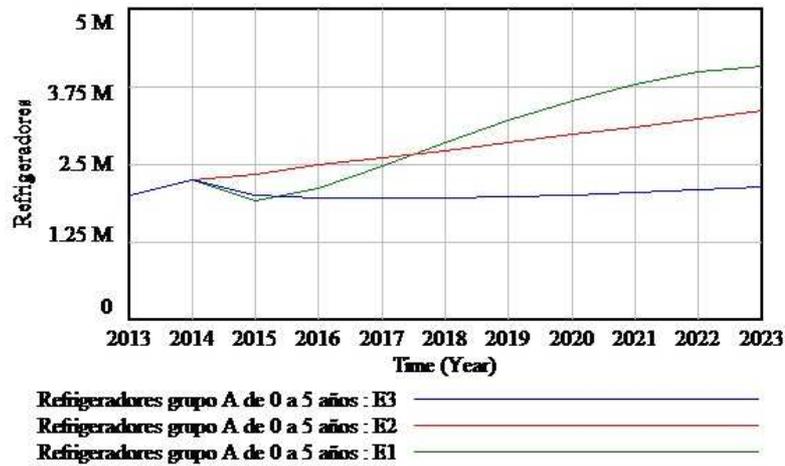


Figura 5.12 Refrigeradores grupo A de 0 a 5 años - E3. Fuente: Autor

Se verifica igual comportamiento en la variación del grupo de refrigeradores de 6 a 10 años de vida útil con respecto a los otros escenarios (ver figura 5.13).

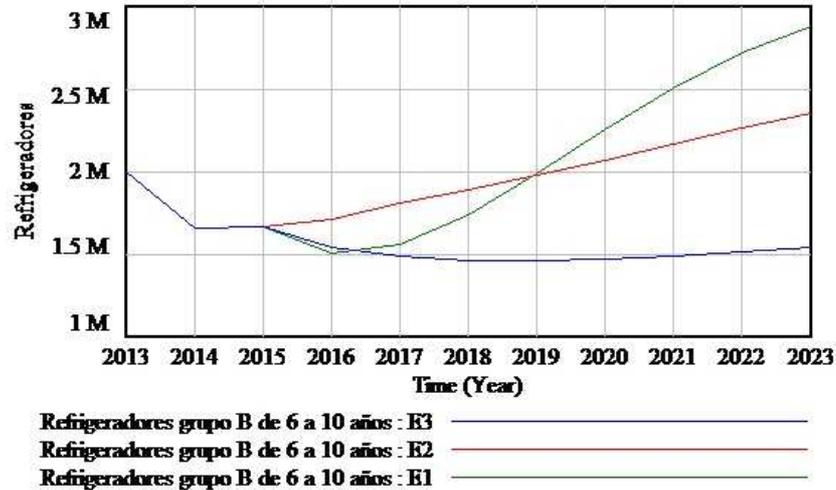


Figura 5.13 Refrigeradores grupo B de 6 a 10 años - E3. Fuente: Autor

Se verifica igual comportamiento en la variación del grupo de refrigeradores de 11 a 15 años de vida útil con respecto a los otros escenarios, a partir del año 2017 (ver figura 5.14).

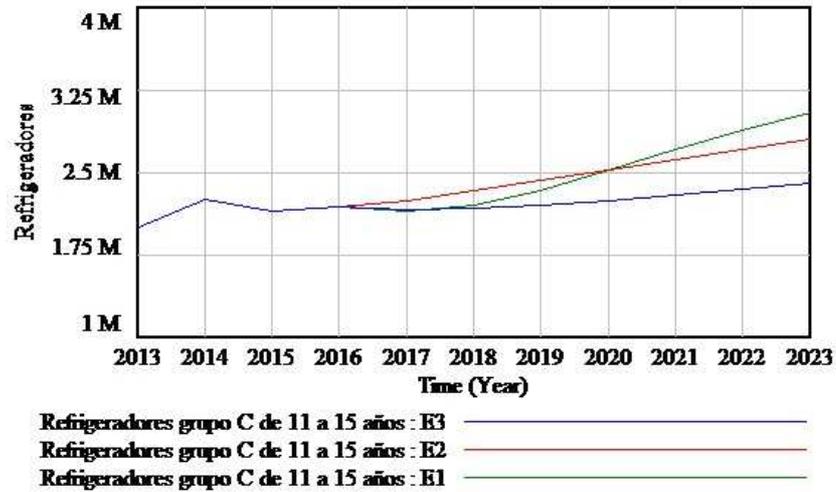


Figura 5.14 Refrigeradores grupo C de 11 a 15 años – E3. Fuente: Autor

Se verifica una tendencia a estabilizarse en las cantidades anuales del grupo de refrigeradores de 15 a 20 años de vida útil con respecto a los otros escenarios, esta estabilidad es muy marcada hasta el año 2017 (ver figura 5.15).

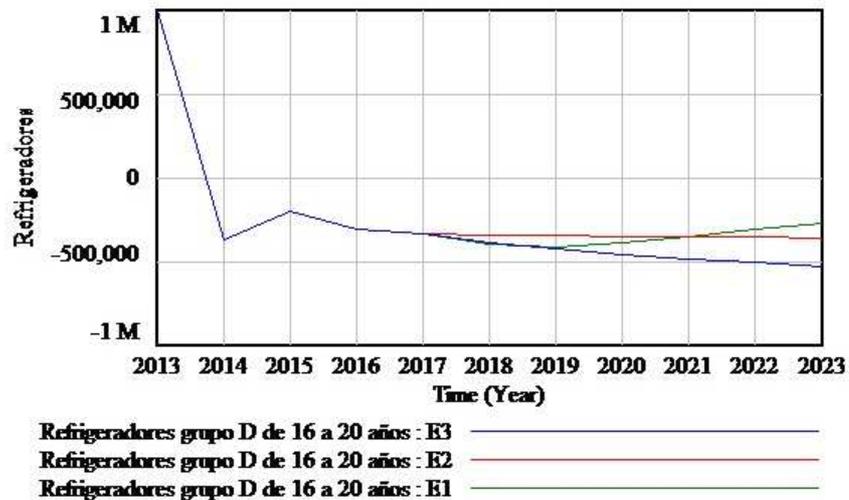


Figura 5.15 Refrigeradores grupo D de 16 a 20 años - E3. Fuente: Autor

Para el caso del grupo de refrigeradores de 21 a 25 años de vida útil, prácticamente no existen diferencias significativas en los tres escenarios analizados hasta el momento (ver figura 5.16).

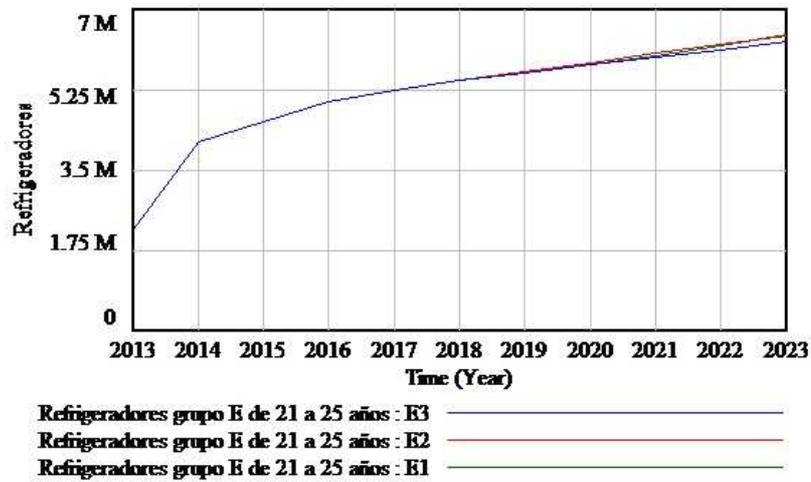


Figura 5.16 Refrigeradores grupo E de 21 a 25 años - E3. Fuente: Autor. Fuente: Autor

En lo que respecta al consumo de energía eléctrica, en la aplicación de la política de eficiencia energética del escenario 3 analizado, se ha registrado un incremento en el consumo eléctrico de aproximadamente 4 TWh, lo que representa un 20% con respecto al escenario actual (1).

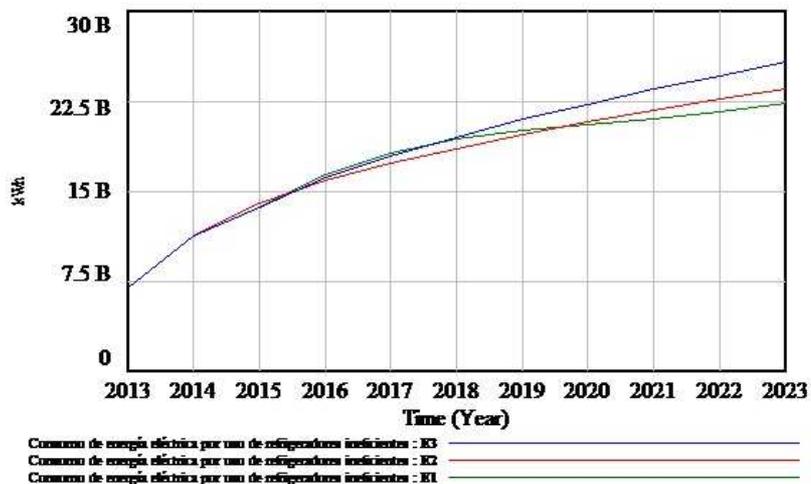


Figura 5.17 Consumo de energía eléctrica por uso de refrigeradores ineficientes - E3. Fuente: Autor

5.3.3 Escenario 4 (E4)

Este escenario se identifica como pesimista, en la que en Colombia no se ha iniciado todavía con un plan de renovación de refrigeradores domésticos eficientes, los fabricantes están produciendo equipos con etiquetado energéticos A y no existe mayor impulso por

parte del estado para que la población renove sus refrigeradores viejos por nuevos, encontrándose neveras de hasta 35 años en funcionamiento.

En este sentido el factor de publicidad baja a un 0.2%, disminuyendo drásticamente el valor de refrigeradores nuevos adquiridos por los hogares colombianos de forma voluntaria (ver figura 5.18).

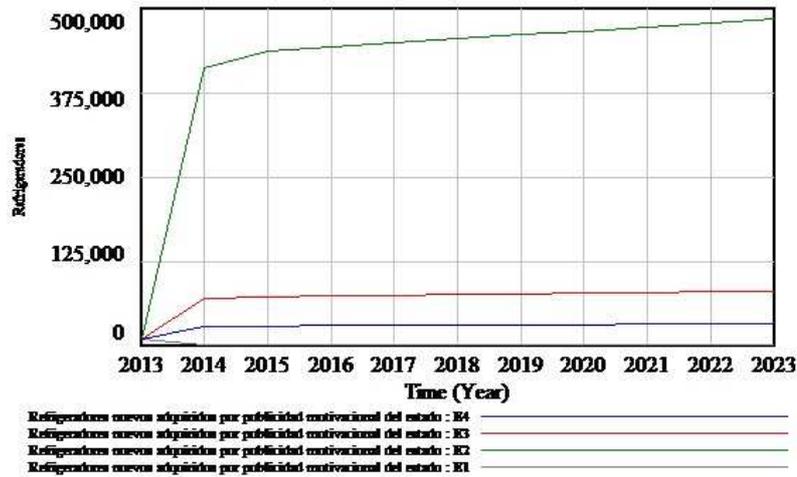


Figura 5.18 Refrigeradores adquiridos por publicidad motivacional del estado - E4. Fuente: Autor

Este resultado afecta de manera directa al número total de refrigeradores nuevos adquiridos por publicidad, plan y hogares nuevos en Colombia (ver figura 4.19).

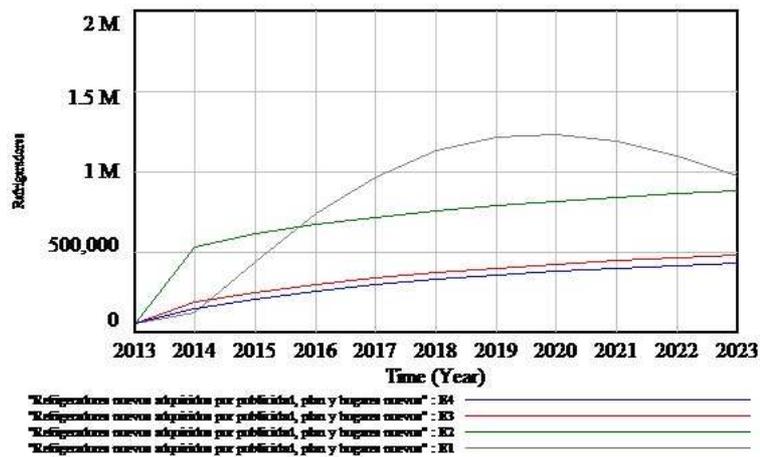


Figura 5.19 Refrigeradores nuevos adquiridos por publicidad, plan y hogares nuevos - E4. Fuente: Autor.

El total de refrigeradores nuevos adquiridos durante todo el período de análisis se puede ver en la figura 5.20.

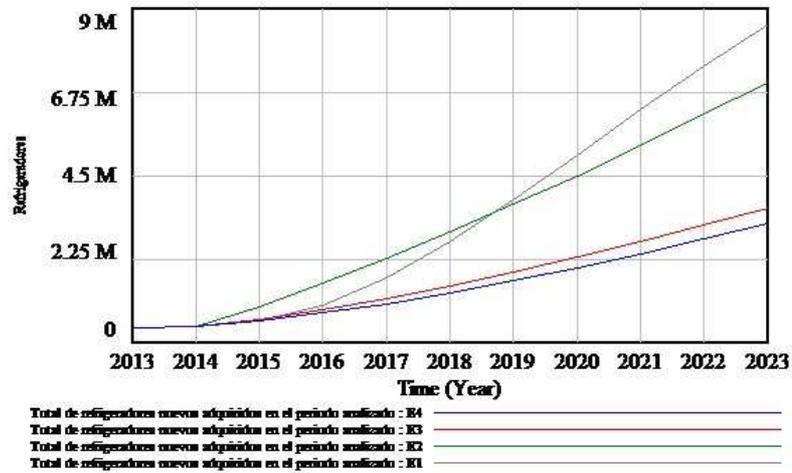


Figura 5.20 Total de refrigeradores nuevos adquiridos en el período analizado. Fuente: Autor

En vista de que el total de refrigeradores disminuye con respecto a los otros escenarios analizados, el factor de corrección por pisos térmicos se incrementa, esto debido a que en Colombia existirán más refrigeradores viejos ineficientes, los que afectarán en gran medida por el piso térmico en el que se encuentren funcionando.

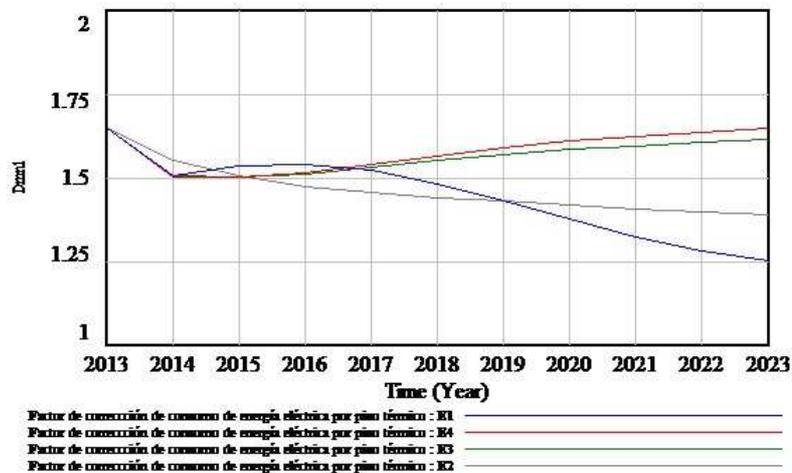


Figura 5.21 Factor de corrección de consumo de energía eléctrica de refrigeradores en Colombia por piso térmico. Fuente: Autor

Luego del análisis desarrollado los escenarios 1 y 2 resultan ser más ventajosos en comparación con los escenarios 3 y 4. Los apoyos económicos que se consideran en las políticas establecidas en los escenarios actual y 2 inciden directamente en el incremento de la renovación de refrigeradores domésticos.

CAPITULO 6: CONCLUSIONES

Para el estado actual, el modelo presenta un total de refrigeradores nuevos que ingresarán a las familias colombianas por los distintos aspectos considerados, teniendo un máximo de 1.4 millones de refrigeradores para los años 2019 y 2020, en el caso del año 2023 se tendrá 1.15 millones de refrigeradores nuevos introducidos en Colombia.

El valor del consumo de energía eléctrica por uso de neveras en Colombia para el escenario actual, en el período de análisis llega a presentar valores al 2023 de aproximadamente 22 TWh.

Para el caso del escenario 2, el total de refrigeradores nuevos disminuyen trascendentemente en relación al escenario actual, ya que no superan los 900.000 en ningún año del período de análisis.

En lo que respecta al consumo de energía eléctrica, en la aplicación de la política de eficiencia energética del escenario 2, se ha registrado un incremento en el consumo eléctrico de aproximadamente 2 TWh, lo que representa un 10% más en relación al escenario actual.

La política establecida en el escenario 3 ha tenido una influencia radical en las cantidades anuales de refrigeradores nuevos adquiridos en los hogares colombianos, llegando al 2023 a presentarse en un total de 500.000 refrigeradores nuevos, versus el 1.400.000 que se alcanza al 2020 en el escenario actual.

Con la aplicación de la política de eficiencia energética del escenario 3, se puede determinar un incremento del consumo de energía eléctrica en un 20% con respecto al escenario actual.

Para el caso de los escenarios 1 y 2, estos resultan ser más ventajosos en comparación con los escenarios 3 y 4. Eso quiere decir que los subsidios considerados inciden directamente en el incremento de refrigeradores domésticos nuevos en los hogares colombianos.

Se puede determinar un ahorro de energía eléctrica, en función del incremento de refrigeradores nuevos eficientes de hasta un 20% en relación a un escenario en donde no se establece planes de renovación o apoyos a la industria.

Con el programa de uso racional y eficiencia de energía del PROURE, se ha establecido al 2015 como metas en eficiencia energética un potencial de ahorro del 20.2% y en función de la ejecución del plan de acción se establece una meta de ahorro del 14.8%. En base a los resultados obtenidos en el modelo de simulación se puede observar que se proyecta al 2023 un ahorro de entre 10 y 20% para los escenarios actual y 2.

El subprograma para el uso eficiente de energía en equipos de refrigeración y aire acondicionado doméstico contemplado en el programa general del PROURE, hace referencia a la sustitución de neveras con más de 25 años de vida útil, por neveras eficientes; ya que se considera que en Colombia existen alrededor de 10 millones de neveras en el sector residencial, de las cuales entre 3 y 4 millones, se encuentran en edades de uso de 21 años en adelante.

En Colombia se cuenta con una propuesta de Reglamento Técnico de Etiquetado Eficiente (RETIQ) para equipos que utilizan energía eléctrica, entre ellos los refrigeradores domésticos, en el modelo este reglamento representa un motivante para que la población renueve de manera voluntaria su refrigerador doméstico viejo.

De acuerdo a la investigación realizada y sobre todo a las aplicaciones encontradas, se puede afirmar que la Dinámica de Sistemas constituye una herramienta muy útil para modelar cualquier tipo de sistema que incluya flujos de retroalimentación entre sus variables. Es de fácil comprensión y observación del comportamiento general del sistema en condiciones normales y ante diferentes escenarios que permitan observar la influencia de políticas que se puedan plantear para medir sus impactos.

El manejo de variables tanto endógenas como exógenas, las ecuaciones y las relaciones que se les establece en el modelo para poder identificar las situaciones reales que se pretende simular, hacen que el modelo vaya mejorando cada vez más hasta que los resultados obtenidos representan situaciones muy próximas a las reales.

El modelo desarrollado en la versión libre de VenSim® PLE, mediante la metodología de la Dinámica de Sistemas permite tener una visión integrada de la realidad en el uso de refrigeradores domésticos en Colombia, por medio de la representación gráfica de su variables trascendentales, desde la identificación de refrigeradores domésticos por grupo de años de vida útil, cuantificación de refrigeradores nuevos, el consumo de energía eléctrica que considere la edad en la que se encuentre y el piso térmico en el que funciones, consumo de energía eléctrica por uso de refrigeradores y su correspondientes valores de emisión de CO₂.

Al implementar escenarios distintos, el modelo permite contar con datos relevantes que facilitan la comprensión de las relaciones causa-efecto del sistema, pudiendo experimentar, ensayar hipótesis de trabajo y utilizarlas como apoyo en la toma de decisiones y sobre todo en la definición de nuevas políticas de acción visibilizadas en escenarios distintos.

Trabajos futuros

Ampliar en el modelo de simulación variables tanto exógenas como endógenas que permitan la posibilidad de evaluar el plan de renovación de refrigeradores domésticos considerando otros aspectos como, la capacidad de la industria para dar respuesta a la demanda de refrigeradores en función dos aspectos como las proyecciones anuales del plan de renovación y el impacto que ocasionaría en la renovación voluntaria la publicidad y

la incorporación de políticas de etiquetado y eficiencia energética; además el incremento de los costos del refrigerador doméstico en función de la mejora de la tecnología y por último el desarrollo de instrumentos regulatorios.

Realizar un estudio del impacto en la economía nacional por los subsidios establecidos en el plan de renovación de refrigeradores domésticos en Colombia, específicamente en el caso de este proyecto en donde la UPME estima una inversión de 1540 millones de dólares en 10 años a fin de renovar 4.000.000 de neveras.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. N. OMAR FREDY PRIAS CAICEDO, «Programa de uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes no Convencionales – PROURE», Ministerio de Minas y Energía República de Colombia, Bogotá, 2010.
- [2] J. R. R. Martínez, «Simulación de políticas de eficiencia energética en el sector residencial en Colombia», Universidad Nacional de Colombia, Colombia, 2013.
- [3] Luiz Augusto Horta, «Indicadores de políticas públicas en materia de eficiencia energética en América Latina y el Caribe», Naciones Unidas, Santiago de Chile, 2010.
- [4] Juan Carlos Aponte Gutiérrez y Jaime Fernando Andrade Mahecha, «Proyección de Demanda de Energía Eléctrica en Colombia revisión marzo de 2014», Ministerio de Minas y Energía Unidad de Planeación Minero Energética, UPME, Bogotá D.C., Colombia, 2013.
- [5] C. J. Hermes y C. Melo, «A first-principles simulation model for the start-up and cycling transients of household refrigerators», *Int. J. Refrig.*, vol. 31, n.º 8, pp. 1341–1357, 2008.
- [6] L. Harrington, «A New Global Test Procedure for Household Refrigerators», *Proc. EEDAL 2009*, 2009.
- [7] W. Abrahamse, L. Steg, C. Vlek, y T. Rothengatter, «A review of intervention studies aimed at household energy conservation», *J. Environ. Psychol.*, vol. 25, n.º 3, pp. 273–291, 2005.
- [8] S. Barr, A. W. Gilg, y N. Ford, «The household energy gap: examining the divide between habitual-and purchase-related conservation behaviours», *Energy Policy*, vol. 33, n.º 11, pp. 1425–1444, 2005.
- [9] P. Bertoldi y B. Atanasiu, «Electricity Consumption and Efficiency Trends in European Union», European Commission Joint Research Centre Institute for Energy, Quito, 2009.
- [10] Secretaría del Ozono, «Manual del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono», Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Nairobi, Kenya, 2006.
- [11] Naciones Unidas, «Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio Climático», Naciones Unidas, 1998.
- [12] E. Berger, M. Heimel, R. Almbauer, y W. Lang, «1D heat Exchanger Simulation to Capture the Cycling Transients of Domestic Refrigeration Appliances Working With R600a», *Int. Refrig. Air Cond. Conf.*, ene. 2012.
- [13] M. A. Marcelino Neto y J. R. Barbosa Jr., «Absorption of isobutane (R-600a) in lubricant oil», *Chem. Eng. Sci.*, vol. 66, n.º 9, pp. 1906-1915, may 2011.
- [14] A. S. Dalkilic y S. Wongwises, «A performance comparison of vapour-compression refrigeration system using various alternative refrigerants», *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 37, n.º 9, pp. 1340-1349, nov. 2010.
- [15] M. Fatouh y M. El Kafafy, «Assessment of propane/commercial butane mixtures as possible alternatives to R134a in domestic refrigerators», *Energy Convers. Manag.*, vol. 47, n.º 15-16, pp. 2644-2658, sep. 2006.
- [16] C.-S. Jwo, C.-C. Ting, y W.-R. Wang, «Efficiency analysis of home refrigerators by replacing hydrocarbon refrigerants», *Measurement*, vol. 42, n.º 5, pp. 697-701, jun. 2009.
- [17] M.-Y. Wen y C.-Y. Ho, «Evaporation heat transfer and pressure drop characteristics of R-290 (propane), R-600 (butane), and a mixture of R-290/R-600 in the three-lines serpentine small-tube bank», *Appl. Therm. Eng.*, vol. 25, n.º 17-18, pp. 2921-2936, dic. 2005.

- [18] K. Mani y V. Selladurai, «Experimental analysis of a new refrigerant mixture as drop-in replacement for CFC12 and HFC134a», *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 47, n.º 11, pp. 1490-1495, nov. 2008.
- [19] M. Mohanraj, S. Jayaraj, C. Muraleedharan, y P. Chandrasekar, «Experimental investigation of R290/R600a mixture as an alternative to R134a in a domestic refrigerator», *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 48, n.º 5, pp. 1036-1042, may 2009.
- [20] Y. S. Lee y C. C. Su, «Experimental studies of isobutane (R600a) as the refrigerant in domestic refrigeration system», *Appl. Therm. Eng.*, vol. 22, n.º 5, pp. 507-519, abr. 2002.
- [21] B. O. Bolaji y Z. Huan, «Ozone depletion and global warming: Case for the use of natural refrigerant – a review», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 18, pp. 49-54, feb. 2013.
- [22] E. Corte, C. Flores, N. Jara, y C. Isaza, «Sistemas de refrigeración doméstica-Estado del arte de las mejoras en la eficiencia energética», *Rev. Fac. Cienc. Quím.*, n.º 9, 2014.
- [23] U. S. Wankhede y A. N. Ahmad Quraishi, «Use of Hydrocarbons and Other Blends as Refrigerant», *Int. J. Mod. Eng. Res. IJMERE*, vol. 3, pp. 250-253, 2013.
- [24] V. Ferioiu y D. Geana, «Properties of pure refrigerants and refrigerant mixtures from cubic equations of state», *Rev Roum Chim*, vol. 56, n.º 5, pp. 517–525, 2011.
- [25] Á. I. Cadena, O. V. González, y O. Báez, «Eficiencia Energética en Colombia Estrategias y Metas», Bogotá D.C., Colombia, 25-sep-2014.
- [26] J. Benavides, «Observatorio de Energía Renovable para América Latina y el Caribe», 2011.
- [27] J. Pinto N., F. García, y B. Chilibingua, «Estudio Integral de la Situación Actual y Perspectivas del Mercado Energético de Colombia», Organización Latinoamericana de a Energía - OLADE, Colombia, oct. 2013.
- [28] M. de la Ossa, L. Henao, E. Ortiz, y M. Zambrano, «Demanda de energía: Sectores Industria y Residencial», Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en Colombia Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia, mar. 2014.
- [29] A. D. Acosta Medina, Á. I. Cadena Monroy, y A. Rodríguez, «Plan de expansión de referencia generación – transmisión 2013-2027», Ministerio de Minas y Energía Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, Bogotá D.C., Colombia, 2013.
- [30] Datosmacro.com, «PIB de Colombia 2015», *datosmacro.com*. [En línea]. Disponible en: <http://www.datosmacro.com/pib/colombia>. [Accedido: 12-mar-2015].
- [31] CONSORCIO CORPOEMA, «Determinación del Consumo Básico de Subsistencia en los Sectores Residencial, Comercial y Hotelero en el Departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina», UPME, Bogotá, 2010.
- [32] Ministerio de Ambiente Vivienda y esarrollo Territorial, «Proyecto de Demostración para el Manejo Integrado de Sector de Chillers Centrifugos, con Enfoque en la Aplicación de Tecnologías Eficientes en Uso de Energía y Libres de CFC para el Reemplazo de Chillers Basados en CFCs». 2010.
- [33] M. MINAMBIENTE, «Sustitución de equipos de refrigeración», mar-2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.google.com/search?q=sin+colombia&ie=utf-8&oe=utf-8#q=MAVDT>. [Accedido: 05-mar-2015].
- [34] Programa de Estudios e Investigaciones en Energía, «Estudio de las Relaciones entr e la Eficiencia Energética y el Desarrollo Económico», Sociedad Alemana para la Cooperación Técnica (GTZ), Santiago, 2003.
- [35] T. M. I. Mahlia y R. Saidur, «A review on test procedure, energy efficiency standards and energy labels for room air conditioners and refrigerator–freezers», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, n.º 7, pp. 1888–1900, 2010.

- [36] V. Letschert, M. A. McNeil, M. Pavon, y W. F. Lutz, «Design of Standards and Labeling programs in Chile: Techno-Economic Analysis for Refrigerators». Scholarly Publishing, 2014.
- [37] F. G. Arroyo-Cabañas, J. E. Aguillón-Martínez, J. J. Ambríz-García, y G. Canizal, «Electric energy saving potential by substitution of domestic refrigerators in Mexico», *Energy Policy*, vol. 37, n.º 11, pp. 4737–4742, 2009.
- [38] C. Augustus de Melo y G. de Martino Jannuzzi, «Energy efficiency standards for refrigerators in Brazil: A methodology for impact evaluation», *Energy Policy*, vol. 38, n.º 11, pp. 6545–6550, 2010.
- [39] H. Qudrat-Ullah y B. S. Seong, «How to do structural validity of a system dynamics type simulation model: the case of an energy policy model», *Energy Policy*, vol. 38, n.º 5, pp. 2216–2224, 2010.
- [40] J. W. Forrester, «The beginning of system dynamics», *McKinsey Q.*, pp. 4–17, 1995.
- [41] J. W. Forrester, «Industrial dynamics-after the first decade», *Manag. Sci.*, vol. 14, n.º 7, pp. 398–415, 1968.
- [42] M. T. García Álvarez, R. M. García Rodríguez, y R. M. Mariz Pérez, «Efectos de la Liberalización en la Inversión de Generación de Electricidad. Referencia al Caso Español», *Investig. Eur. Dir. Econ. Empresa*, vol. 14, n.º 1, pp. 73–84, 2008.
- [43] M. Jamshidi, «An analysis of residential energy intensity in Iran, a system dynamics approach», en *Proceedings of the 26th International Conference of the System Dynamics Society, Athens, Greece*, 2008, pp. 20–24.
- [44] E. Garcés A., C. Franco C., y I. Dyner R., «Evaluación de la robustez del Cargo por Confiabilidad en el parque generador eléctrico Colombiano», presentado en X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, Argentina, 2012, pp. 1-8.
- [45] Z. Esmaeeli, H. Shakouri, y A. Sedighi, «Investigation of pricing impact on the electrical energy consumption behavior of the household sector by a system dynamics approach», en *International System Dynamics Conference, Nijmegen, The Netherlands*, 2006.
- [46] M. Castañeda R., C. J. Franco C., y I. Dyner R., «Modelo de dinámica de sistemas de la reforma del mercado eléctrico de Gran Bretaña», presentado en X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, Argentina, 2012.
- [47] R. M. Portillo y A. R. Tymoschuk, «Modelo Dinámico para el Estudio de la Situación Energética en la Ciudad de Santa Fe», presentado en X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, Argentina, 2012, pp. 1-11.
- [48] M. Saleh, R. Oliva, C. E. Kampmann, y P. al I. Davidsen, «A comprehensive analytical approach for policy analysis of system dynamics models», *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 203, n.º 3, pp. 673–683, 2010.
- [49] R. Ponzó, I. Dyner, S. Arango, y E. R. Larsen, «Regulation and development of the Argentinean gas market», *Energy Policy*, vol. 39, n.º 3, pp. 1070–1079, 2011.
- [50] L. M. Cárdenas, I. Dyner, y C. J. Franco, «Crisis climática: modelado de políticas que favorezcan la penetración de tecnologías limpias Climate crisis: policy modeling to assess the penetration of clean technologies».
- [51] S. L. Raimundini y D. Borenstein, «Hipótesis Dinâmica do Mercado de Carbono para Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo Dynamic Hypothesis of Carbon Market for Clean Development Mechanism Projects», presentado en X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, Argentina, 2012.

- [52] S. Zapata Ramirez, C. Franco, y I. Dyner, «Una Aproximación a la liberación del mercado de los biocombustibles en Colombia», presentado en X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, Argentina, 2012, pp. 1-12.
- [53] A. M. Orellana, M. Folegatti, y R. Sánchez-Román, «Valoração Ecológica de Serviços Ecosistêmicos Hídricos: Uma perspectiva de Dinâmica de sistemas», presentado en X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, Argentina, 2012, pp. 1-9.
- [54] N. Abdallah, E. Mansilla, y O. Martínez, «Actividades de Bienestar en las personas como factor clave en el desempeño laboral. Abordaje sistémico e interdisciplinario», presentado en X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, Argentina, 2012, pp. 1-9.
- [55] S. A. Ramírez, M. F. Ángel, J. S. Fernández, y O. Rubio, «Análisis de la Toma de Decisiones en el Manejo de Inventarios Utilizando Dinámica de Sistemas», presentado en X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, Argentina, 2012, pp. 1-18.
- [56] D. A. Ramírez L., M. Valencia T., y J. A. Sánchez V., «Dinámica de la Gestión de la Cadena de Suministro para Productos con Ciclo de Vida Corto», presentado en X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, Argentina, 2012, pp. 1-12.
- [57] L. I. Andrade D., S. M. Ríos N., y G. E. Torres O., «Análisis Prospectivo de la Estructura Agraria en Chile basado en un Modelo de Dinámica de Sistemas», presentado en X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, Argentina, 2012, pp. 1-8.
- [58] F. Guerra, M. Osorio, H. Aguilar, y J. Gómez, «Buscando Consenso para el Sector de la Industria de la Comunicación Gráfica en Colombia (SICG)», presentado en X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, Argentina, 2012, pp. 1-7.
- [59] C. J. Franco C. y A. Baena A., «Dinámica de la penetración de tecnologías alternativas para vehículos automotores y su impacto en las concentraciones de carbono atmosférico», presentado en X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, Argentina, 2012, pp. 1-8.
- [60] M. Arboleda, I. Parra, I. Aristizábal, y H. Sabogal, «Estudio dinámico de la movilidad en la ciudad de Santiago de Cali - Colombia Dynamic study of mobility in the city of Santiago de Cali - Colombia», presentado en X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, Argentina, 2012, pp. 1-10.
- [61] L. A. Ardila F. y C. J. Franco C., «Evaluación de estrategias que impulsen la sostenibilidad del transporte particular en Colombia», presentado en X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, Argentina, 2012, pp. 1-9.
- [62] A. Baena, C. Olaya, y others, «Vivienda de Interés Social de calidad en Colombia: hacia una solución integral», *Sist. Telemática*, 2013.
- [63] J. D. Sterman, «System Dynamics: systems thinking and modeling for a complex world», en *Proceedings of the ESD Internal Symposium*, 2002.
- [64] J. W. Forrester, *Principles of Systems*.(1968), vol. 1. Massachusetts Institute of Technology, 1968.
- [65] J. Aracil, *Dinámica de Sistemas*, Primera. Madrid, España: Isdefe, 1995.
- [66] W. Braun, «The system archetypes», *System*, vol. 2002, p. 27, 2002.
- [67] A. Ortiz, J. M. Sarriegi, y J. Santos, «Modelización de variables soft», *Rev. Dinámica Sist.*, vol. 2, n.º 1, pp. 67–101, 2006.
- [68] F. Blaser, «Gestión de Residuos Electrónicos en Colombia Diagnóstico de Electrodomésticos y de Aparatos Electrónicos de Consumo», Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (A NDI) Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales (CNPMLTA) Secretaria Federal de Asuntos Económicos, Suiza (SECO), Colombia, oct. 2009.

- [69] C. Caneva y M. Basavanna, «Código de Construcción Sostenible en Colombia Fase 1: Eficiencia Energética e Hídrica», Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio International Finance Corporation (IFC), Colombia, sep. 2013.
- [70] Sun Frost, «The worlds most elegant refrigerators are also the world's most efficient!», mar-2015. [En línea]. Disponible en: http://www.sunfrost.com/efficient_refrigerator_models.html. [Accedido: 05-mar-2015].
- [71] H. A. Sanjuán, «Cálculo del Factor de Emisión de CO2 del Sistema Eléctrico Interconectado Colombiano», Unidad de Planeación Minero Energética del Ministerio de Minas y Energía - República de Colombia, Colombia, mar. 2009.
- [72] C. J. Ramírez Beltrán y L. G. Alférez Sandoval, «Modelo conceptual para determinar el impacto del merchandising visual en la toma de decisiones de compra en el punto de venta», *Rev. Científica Pensam. Gest.*, vol. 36, n.º 0, ago. 2014.
- [73] Sanne van den Dungen y Gerry Carrington, «Minimum Energy Performance Standards», University of Otago, New Zealand, 2011.
- [74] Ministerio de Energía, «Informe Técnico Preliminar Estándar Mínimo de Eficiencia Energética Refrigeradores de Uso Doméstico», Ministerio de Energía del Gobierno de Chile, Santiago de Chile, Versión consulta pública, 2014.

ANEXO A: ESTÁNDARES MÍNIMOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Los MEPS se han aplicado en muchos países y son un mecanismo efectivo para promover el ahorro de energía y la transformación del mercado.

El número promedio de estándares mínimos de eficiencia energética con carácter de obligatorio (MEPS) implementados en los diez países con los MEPS más fuertes: EE.UU., Canadá, República Popular de China, Japón, Corea, México, Australia, Israel, China Taipei y la Unión Europea, es de 27, de manera particular en los EE.UU. es de 46, Canadá de 44 y China de 41.

Los productos más comúnmente representados en los MEPS, son: lavadoras y secadoras de ropa, lámparas fluorescentes, lavavajillas, lámparas incandescentes, refrigeradores /congeladores, televisores y máquinas expendedoras, calentadores de agua [73].

La eficiencia de un equipo se determina al comparar la medida de su consumo de energía en laboratorio con el consumo teórico, si este resultado es menor entonces se puede decir que el equipo es más eficiente.

El índice de eficiencia energética α se define como [74]:

$$I_{\alpha} = \frac{AC}{SC_{\alpha}} 100$$

En donde AC es el consumo de energía anual del refrigerador, obteniéndose al multiplicar el consumo en kWh/24h resultante del ensayo por 365; se expresa en kWh/año

SC_{α} = consumo de energía anual normalizado α del refrigerador, en kWh/año; Este consumo depende del volumen útil del compartimiento del refrigerador, la temperatura nominal, y otras características constructivas [74].

De acuerdo al valor del índice se determina la escala de valores de la etiqueta (ver tabla A.1), que va desde el A++ para los más eficientes, al G para el menos eficiente, como se establece en la norma Chilena 3000 (NCh3000).

Tabla A-1 Clases de Eficiencia Energética [39].

Índice de eficiencia energética α (I_{α})	Clase de eficiencia energética
$30 > I_{\alpha}$	A++
$42 > I_{\alpha} \geq 30$	A+
$I_{\alpha} \geq 42$	A – G

Las Clases de eficiencia energética de A a la G de un refrigerador se deben determinar de acuerdo con la tabla A.2.

Tabla A-2 Clases de Eficiencia Energética de A a G [39].

Índice de eficiencia energética (I)	Clase de eficiencia energética
$I < 55$	A
$55 \leq I < 75$	B
$75 \leq I < 90$	C
$90 \leq I < 100$	D
$100 \leq I < 110$	E
$110 \leq I < 125$	F
$125 \leq I$	G

Existe una diferencia entre las tablas 1.14 y 1.15, ya que para los índices I_{α} e I se establecen pequeños cambios en el método de cálculo del consumo de energía anual normalizado del refrigerador.

Experiencia de MEPS desarrollada en Chile.

A principios de 2005 el gobierno de Chile estableció el Programa Nacional de Eficiencia Energética. Se destaca de entre las medidas al etiquetado de eficiencia energética de los aparatos eléctricos, este programa cubre: bombillas, refrigeradores y congeladores, acondicionadores de aire, motores (hasta 10 CV), microondas, televisores y otros aparatos electrónicos. Con la excepción de los motores, los productos incluidos se encuentran principalmente en el sector residencial.

Tabla A-3 Programas implementados en Chile [74].

Producto	Fecha de implementación	Eficiencia Energética y Normas de Seguridad	Normas de etiquetado	Etiqueta energética
Refrigerador- Congelador	Enero 10 de 2008	ISO 15502 IEC 60335-2-24	NCh 3000	
Refrigerador	Enero 31 de 2008			
Congelador	Agosto 14 de 2008			

El programa tiene como referente al sistema de etiquetado de la UE para refrigeradores/congeladores, con categorías de letras que van desde la G (menos eficiente) a la A (más eficiente), en la tabla A.3 se pueden observar los programas implementados en Chile.

En el año 2009, el 10% del mercado chileno poseen refrigeradores que se ubican en el nivel A + y A ++.

El Ministerio de Chile, proporcionó las UECs², y el Índice de Eficiencia Energética para el año 2009. La tabla A.4 presenta un resumen de los datos recopilados.

Tabla A-4 UEC promedio e EEI por categoría de etiquetado [74].

	UEC	EEI
Categoría de Eficiencia	kWh	%
A ++	283	27.0
A +	349	35.5
A	380	48.2
B	423	66.4
C	451	84.9

Los precios medios de venta de los refrigeradores en Chile para el 2010 en todos los niveles de eficiencia se pueden verificar en la tabla A.5.

Tabla A-5 Precios medios de venta de los refrigeradores en Chile para el 2010 [74].

	Precio al por menor	Precio al por menor	Tamaño de la muestra
Categoría de eficiencia	Pesos Chilenos	Dólares*	
A++	454022	904	34
A+	392855	783	26
A	343538	684	106
B	231257	461	1
C	169990	339	2

* Se considera una tasa de cambio de 500 pesos por dólar

Mejorar la eficiencia del refrigerador doméstico, implica la implementación de tecnologías eficientes para la producción, de manera general esto se traduce en el incremento de los

² UEC Unidad de consumo de energía; EEI Índice de Eficiencia Energética

costos de producción, que a la postre se transmiten al consumidor en forma de precios al por menor más altos.

Existe la posibilidad de cuantificar todos esos costos para determinar un costo del ciclo de vida del equipo, costos de operación, en base a la unidad de consumo de energía y el precio de la energía que se podrían asumir constante de año en año.

Es necesario que el consumidor entienda que es una inversión asumir un mayor costo inicial del equipo ya que podrá recuperarla a través de menores costos de operación.

En el estudio se presenta un pronóstico de la participación del mercado en eficiencia energética, teniendo en cuenta los reajustes por la incorporación del programa de etiquetado, ver tabla A.6.

Tabla A-6 Pronóstico de la participación del mercado en eficiencia [74].

	2012	2014	2020	2025	2030
A+++			1%	5%	15%
A++	9%	22%	60%	95%	85%
A+	15%	21%	39%	0%	0%
A	57%	57%	0%	0%	0%
B	19%	0%		0%	0%
C	0%	0%		0%	0%

En la figura A.1 se representa la EEI en los tres casos, para MEPS a nivel de etiqueta energética A +

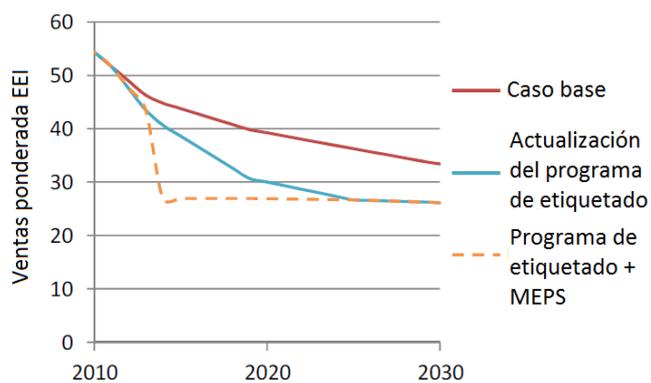


Figura A.1 Eficiencia ponderada de venta en diferentes escenarios de política [74].

En la figura A.2 se representa el precio de venta al consumidor bajo diferentes escenarios de política

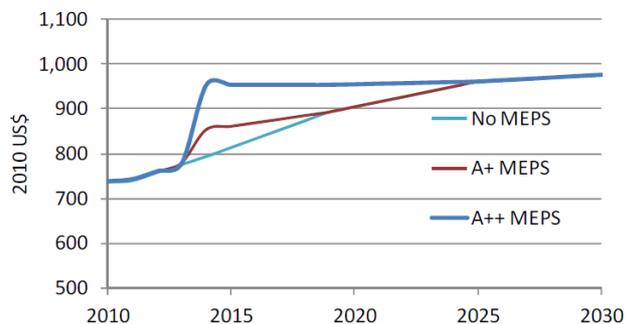


Figura A.2 Precio de venta al por menor ponderado en diferentes escenarios de política [74].

En la tabla A.7 se presentan los resultados del costo del ciclo de vida del refrigerador domésticos y el período de recuperación.

Tabla A-7 Resultados del costo del ciclo de vida y Período de Recuperación [74].

	Precio de Compra	Factura anual de electricidad	Costo del ciclo de vida (LCC)	LCC Ahorrado	Período de Recuperación (PBP)
	USD	USD	USD	USD	Años
No MEPS	737	61	1.199		
A+ MEPS	792	50	1.169	30	5
A++ MEPS	885	40	1.191	8	7,3

En todas las configuraciones, el costo del ciclo de vida de un frigorífico promedio en el caso base es superior a la del costo del ciclo de vida de un frigorífico promedio en el caso de MEPS. El consumidor experimenta un beneficio financiero neto en la compra de un refrigerador A+ o A++ en lugar de un refrigerador etiquetado A.

En la figura A.3 se muestra las dos cuotas de mercado y ambas previsiones de ventas de refrigeradores congeladores con una proyección al 2030.

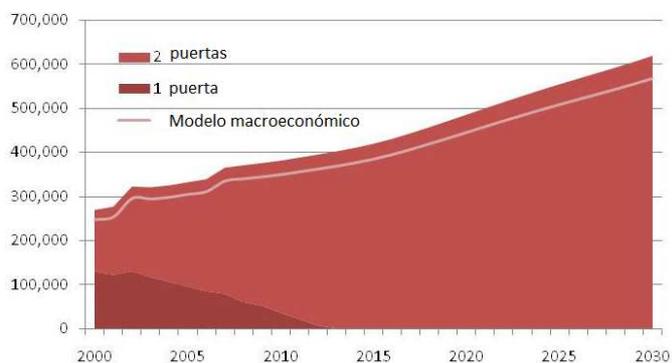


Figura A.3 Refrigeradores-Congeladores Ventas Pronóstico para 2030 [74].

En la tabla A.8 y A.9 se resumen la conclusión del estudio en términos de potencial de ahorro energético en los diferentes escenarios establecidos.

Tabla A-8 Conclusión del estudio en términos de potencial de ahorro energético [74].

	Mínimo EEI	Energía ahorrada en 2030 (País)	Acumulado (País) Energía ahorrada al 2030	Acumulado en la fuente Energía ahorrada al 2030
		GWh	GWh	Mtoe
Programa de etiquetado (SI)	NA	477,00	4.180	0,78
MEPS A (S1)	55	477,00	4.180	0,78
MEPS A+ (S2)	42/44	515,00	5.159	0,96
MEPS A++ (S3)	33	608,00	6.778	1,27

Tabla A-9 Conclusión del estudio en términos de costos [74].

	Mínimo EEI	Total costo incremental	Ahorro de electricidad	Relación costo beneficio	Valor actual neto - NPV
		Millones USD	Millones USD		Millones USD
Programa de etiquetado	NA	0	0	NA	0
MEPS A	55	0	0	NA	0
MEPS A+	42/44	59	118	2	59
MEPS A++	33	256	311	1,22	55

Experiencia de MEPS en la Unión Europea

El reglamento de la Comisión Europea exige un mínimo Índice de Eficiencia Energética (EEI) en tres pasos, como se muestra en la tabla A.10.

Tabla A-10 Criterio de diseño ecológico [74].

Fecha de aplicación	Índice de Eficiencia Energética
1 de Julio de 2010	EEI < 55
1 de Julio de 2012	EEI < 44
1 de Julio de 2014	EEI < 42

El programa de etiquetado incluyó en septiembre de 2010 la etiqueta (A +++) y eliminó las categorías menos eficientes (ver tabla A.11).

Tabla A-11 Programa de etiquetado Europeo, definido a partir de septiembre de 2010 [74].

Categoría de Eficiencia Energética	Índice de Eficiencia Energética
A +++ (Más eficiente)	EEI < 22
A ++	22 ≤ EEI < 33
A +	33 ≤ EEI < 44/42*
A	44/42* ≤ EEI < 55
B	55 ≤ EEI < 75
C	75 ≤ EEI < 95

* El esquema de etiquetado europeo en 2014, estipula un cambio en el mínimo EEI para la etiqueta de 44 a 42

Desde julio de 2010, los refrigeradores y congeladores que se venden en Europa tienen que ser de nivel A o superior, el etiquetado oscila entre A y A +++.

Experiencia de MEPS en Estados Unidos y Canadá.

Con respecto a refrigeradores domésticos, en la actualidad se utiliza una etiqueta de rango continuo en la que se muestra el nivel de consumo energético del producto. También se están colocando el sello "Energy Star", lo que representa un 20% más eficiente energéticamente que los modelos que cumplen con las normas mínimas de eficiencia energética federal [42].

En USA se define el estándar mínimo de eficiencia energética (MEPS) con un nivel de energía máximo permitido en función del volumen ajustado y el tipo de refrigerador, así:

Volumen Ajustado (AV) = Volumen del compartimento de alimentos frescos + (K x volumen de compartimento congelador)

Los valores de K para los diferentes tipos de refrigeradores son:

- 1,0 para refrigeradores sin compartimento congelador.
- 1,44 para refrigeradores de una puerta con un compartimento congelador interno.
- 1,63 para un refrigerador-congelador.
- 1,73 para un congelador.

Con el Volumen Ajustado, se utiliza la tabla A.12 que define el consumo máximo de energía por tipo de refrigerador. AV en pies³ y av en litros.

Tabla A-12 Definición de estándar eficiencia energética en Canadá y Estados Unidos [39].

No.	Descripción	Consumo anual de energía máximo (kWh/año) a partir de 2001.	Consumo anual de energía máximo (kWh/año) a partir de sept. 2014.
1	Refrigeradores y refrigeradores-congeladores con descongelación manual	8.82 AV + 248.4	7.99AV + 225.0
		0.31av + 248.4	0.282av + 225.0
2	Refrigerador- congelador con descongelación automática parcial	8.82 AV + 248.4	7.99AV + 225.0
		0.31av + 248.4	0.282av + 225.0
3	Refrigerador -congelador con descongelación automática con congelador montado arriba, sin servicio de hielo a través de la puerta	9.8 AV + 276	9.15AV + 264.9
		0.35av + 276.0	0.285av + 233.7
4	Refrigerador -congelador con descongelación automática con congelador de montaje lateral, sin servicio de hielo a través de la puerta	4.91 AV + 507.5	8.51AV + 297.8
		0.17av + 507.5	0.301av + 297.8
5	Refrigerador y congelador con descongelación automática con congelador inferior montado, sin servicio de hielo a través de la puerta	4.6 AV + 459	8.85AV + 317.0
		0.16av + 459.0	0.312av + 317.0
6	Refrigerador - congelador con descongelación automática con congelador de montaje superior, y con un servicio de hielo a través de la puerta	10.2 AV + 356	8.40AV + 385.4
		0.36av + 356.0	0.297av + 385.4
7	Refrigerador -congelador con descongelación automática con congelador de montaje lateral, con servicio de hielo a través de la puerta	10.1 AV + 406	8.54AV + 432.8
		0.36av + 406.0	0.302av + 432.8
8	Congeladores verticales con descongelación manual	7.55 AV + 258.3	5.57AV + 193.7
		0.27av + 258.3	0.197av + 193.7
9	Congeladores verticales con descongelación automática	12.43 AV+ 326.1	8.62AV + 228.3
		0.44av + 326.1	0.305av + 228.3
10	Congeladores horizontales y todos los demás congeladores (no compactos)	9.88 AV + 143.7	7.29AV + 107.8
		0.35av + 143.7	0.257av + 107.8
11	Refrigeradores compactos y de refrigerador - congelador con Descongelamiento Manual	10.70 AV+ 299.0	9.03AV + 252.3
		0.38av + 299.0	0.319av + 252.3
12	Refrigerador-Congelador- compacto con descongelación automática parcial	7.00 AV+ 398.0	5.91AV + 335.8
		0.25av + 398.0	0.209av + 335.8
13	Refrigerador- congelador compacto con descongelación automática del congelador de montaje superior	12.70 AV+ 355.0	11.80AV + 339.2
		0.45av + 355.0	0.417av + 339.2
14	Refrigerador – congelador compacto con descongelamiento automático tipo congelador de montaje lateral	7.60 AV+ 501.0	6.82AV + 456.9
		0.27av + 501.0	0.241av + 456.9
15	Refrigerador -Congeladores compacto con descongelamiento automático con congelador inferior	13.10 AV+ 367.0	11.80AV + 339.2
		0.46av + 367.0	0.417av + 339.2
16		9.78AV + 250.8	8.65AV + 225.7

	Congeladores verticales compactos con descongelación manual	$0.35av + 250.8$	$0.306av + 225.7$
17	Congeladores verticales compactos con descongelación automática	$11.4 AV + 391$	$10.17AV + 351.9$
		$0.40av + 391.0$	$0.359av + 351.9$
18	Congeladores horizontales compactos	$10.45 AV + 152$	$9.25AV + 136.8$
		$0.37av + 152.0$	$0.327av + 136.8$

Experiencia de MEPS en China.

China adoptó estándares de eficiencia energética para refrigeradores y congeladores en 1989 aproximados a los establecidos por Estados Unidos y Canadá. El consumo de electricidad máximo permitido para un modelo dado es función del volumen ajustado más una constante. En el año 2003 se actualizaron las normas las que dieron lugar a una reducción de aproximadamente 10% en el consumo de electricidad máximo relativo a las normas de 2000, y la revisión de 2007 redujo un 10% adicional a las anteriores [39].

Experiencia de MEPS en Australia y Nueva Zelanda.

En el año 2005 en Australia y Nueva Zelanda se aplican unos estándares mínimos de eficiencia energética que estaban ajustados en un alto porcentaje con los niveles que se introdujeron en Estados Unidos en el año 2001. La última actualización realizada rige desde el año 2010 y está vigente actualmente.

El consumo máximo de energía para refrigeradores domésticos [39], se calcula por la siguiente expresión:

$$\text{Nivel máximo de consumo eléctrico} = [Kf + (Kv * Vadj\ tot)] * Ka + Ad\ tot + Awi$$

Donde:

- Kf = Factor de asignación fija por el tipo de artefacto.
- Kv = Factor de asignación variable
- Ka = Factor de ajuste dependiendo del sistema de descongelación, es 1,0 para modelos sin descongelamiento automático y 1,05 para modelos con sistemas de descongelamiento automático.
- $Vadj\ tot$ = Volumen total ajustado.
- $Ad\ tot$ = Asignación que se hace cuando las puertas exteriores de un refrigerador difieren de la disposición regular para ese grupo de artefactos. La asignación puede ser positiva o negativa.
- Awi = Una asignación de 128 kWh/año (Norma de 2010) se aplica cuando un aparato tiene un "dispensador de hielo a través de la puerta", junto con un dispositivo para el suministro de la demanda de hielo externa a través de una puerta. Esta asignación también se aplica si a través del dispensador de la puerta se suministra agua fría.

En la tabla A.13 se encuentran los factores para el cálculo del estándar mínimo de eficiencia energética.

Tabla A-13 Factores para cálculo del estándar mínimo de rendimiento energético [39].

Grupo de refrigeradores	Factor de asignación fija kf (kWh/año)	Factor de asignación variable Kv (kWh/año)
G 1: Refrigerador sin compartimiento de baja temperatura, descongelamiento automático	296	0,356
G 2: Refrigerador con o sin compartimiento de fabricación de hielo, deshielo manual	308	0,309
G 3: Frigorífico con un compartimiento de alimentos congelados a corto o largo plazo, deshielo manual	301	0,366
G 4: Refrigerador-congelador, con compartimiento de alimentos frescos de descongelación automática, y congelador de descongelación manual	295	0,351
G 5B: Refrigerador-congelador, ambos compartimentos descongelación automática (sin escarcha), con congelador inferior.	334	0,384
G 5T: Refrigerador-congelador, ambos compartimentos descongelación automática (sin escarcha), congelador superior	440	0,382
G 5S: Refrigerador-congelador, ambos compartimentos descongelación automática (sin escarcha), configuración lado a lado.	607	0,18
G 6U: Congelador vertical independiente, deshielo manual.	202	0,514
G 6C: Congelador horizontal independiente, todos los tipos de deshielo.	299	0,317
G 7: Congelador vertical independiente, descongelación automática (sin escarcha).	383	0,514

Experiencia de MEPS en Argentina.

En Argentina se implementó el etiquetado de eficiencia energética para refrigeradores domésticos en el año 2006. El modelo utilizado es el utilizado en la Unión Europea y Chile, en donde los refrigeradores pueden ser calificados desde el punto de vista de su rendimiento a través de 7 clases de eficiencia identificadas por las letras de la A a la G, donde la letra A se le adjudica a los más eficientes y la G a las menos eficientes.

En noviembre 2013 se establece como nivel máximo de consumo específico de energía, o mínimo de eficiencia energética, el correspondiente a la clase B para refrigeradores y abril de 2014 para congeladores.

Experiencia de MEPS en México.

En el año 2002 se establecen los primeros estándares mínimos de eficiencia energética para refrigeradores en México, similares a los establecidos en Estados Unidos y Canadá en el año 2001.

Se presentaron modificaciones en febrero de 2012, estableciendo que los límites de consumo de energía máximos se deben determinar aplicando las fórmulas de la tabla A.14 en función del tipo de refrigerador, su sistema de deshielo y volumen ajustado.

Tabla A-14 Límites de consumo energético [39].

Grupo	Descripción del tipo de refrigerador	límite de consumo de energía máximo 2012
1	Refrigerador solo, convencional y refrigerador-congelador (R/C) con deshielo manual o semiautomático.	$0,31VA+248,4$
2	Refrigerador-congelador con deshielo parcialmente automático.	$0,31VA+248,4$
3	Refrigerador-congelador con deshielo automático y congelador montado en la parte superior, sin despachador de hielo, y refrigeradores solos con deshielo automático.	$0,35VA+276,0$
4	Refrigerador-congelador con deshielo automático y congelador montado lateralmente, sin despachador de hielo.	$0,17VA+507,5$
5	Refrigerador-congelador con deshielo automático y congelador montado en la parte inferior, sin despachador de hielo.	$0,16VA+459,0$
5 ^a	Refrigerador-congelador con deshielo automático y congelador montado en la parte inferior, con despachador de hielo a través de la puerta.	$0,18 VA + 539$
6	Refrigerador-congelador con deshielo automático y congelador montado en la parte superior, con despachador de hielo.	$0,36VA+356,0$
7	Refrigerador-congelador con deshielo automático y congelador montado lateralmente, con despachador de hielo.	$0,36VA+406,0$
8	Congelador vertical con deshielo manual.	$0,27VA+258,3$
9	Congelador vertical con deshielo automático.	$0,44VA+326,1$
10	Congelador horizontal y todos los demás congeladores, excepto congelador compacto.	$0,35VA+143,7$
10A	Congelador horizontal con deshielo automático.	$0,52 VA+ 211,5$
11	Refrigerador y refrigerador-congelador compacto con deshielo manual.	$0,38VA+299,0$

12	Refrigerador-congelador compacto con deshielo parcialmente automático.	0,25VA+398,0
13	Refrigerador-congelador compacto con deshielo automático y congelador montado en la parte superior y refrigerador solo compacto con deshielo automático.	0,45VA+355,0
14	Refrigerador-congelador compacto con deshielo automático y congelador montado lateralmente.	0,27VA+501,0
15	Refrigerador-congelador compacto con deshielo automático y congelador montado en la parte inferior	0,46VA+367,0
16	Congelador vertical compacto con deshielo manual.	0,35VA+250,8
17	Congelador vertical compacto con deshielo automático	0,40VA+391,0
18	Congelador horizontal compacto.	0,37VA+152,0

* El Consumo de energía máximo por año se expresa en kWh/año y VA en dm³.

Experiencia de MEPS en Brasil.

En diciembre de 2007 se regulan los niveles máximos de consumo de energía eléctrica (NMC) para refrigeradores y congeladores, los que se expresan en kWh/mes y es proporcional al Volumen Ajustado (VA), y calculados de acuerdo a la expresión:

$$NMC = p1 * VA + p2$$

Siendo los factores $p1$ y $p2$ parámetros relativos a cada tipo de refrigerador.

En la tabla A.15 se presentan los niveles de consumo eléctricos máximos en refrigeradores, los cuales dependen del tipo del tipo de expansor de espuma que utiliza el electrodoméstico.

Tabla A-15 Niveles de consumo eléctricos máximos en refrigeradores año 2007 [39].

Categorías	Ecuaciones para definir los niveles máximos para cada categoría de consumo (kWh / mes)	
	Agente expansor de Espuma: R141b	Agente expansor de Espuma: Ciclopentano
Refrigerador	$NMC = 0,0422*VA + 23,3227$	$NMC = 0,0416*VA + 22,9786$
Refrigerador combinado	$NMC = 0,1118*VA + 20,8413$	$NMC = 0,1101*VA + 20,5338$
Refrigerador combinado libre de escarcha	$NMC = 0,1292*VA + 9,1332$	$NMC = 0,1258*VA + 8,18936$
Congelador vertical	$NMC = 0,0257*VA + 47,8582$	$NMC = 0,0254*VA + 47,1521$
Congelador vertical libre de escarcha	$NMC = 0,0217*VA + 71,6286$	$NMC = 0,0214*VA + 70,5718$
Congelador horizontal	$NMC = 0,0925*VA + 15,9759$	$NMC = 0,0911*VA + 15,7402$

En mayo de 2011 se establecen nuevas disposiciones para definir el estándar mínimo de rendimiento energético en base al “Nivel Máximo de Consumo (C/Cp)” que se define en base a la etiqueta de eficiencia energética utilizada en Brasil, ver tabla A.16.

Tabla A-16 Niveles máximos de consumo (C/Cp) que se establecen para refrigeradores y congeladores, año 2011 [39].

Frigobar	Refrigerador	Refrigerador libre de escarcha	Combinado	Combinado libre de escarcha	Congelador vertical	Congelador vertical libre de escarcha	Congelador horizontal
1,113	1,144	1,174	1,132	1,131	1,148	1,158	1,162

Experiencia de MEPS en Perú.

En Octubre de 2009 aprobó el Plan Referencial del Uso Eficiente de la Energía 2009-2018, que para el sector residencial señala la implementación del etiquetado obligatorio para equipos de iluminación, calentadores de agua, refrigeradoras, televisores, aire acondicionado, computadoras y otros y, también el establecimiento de reglamentos de consumos mínimos de equipos para limitar el ingreso de equipo ineficientes o de alta demanda.

En el mismo año se publicó la guía de estándares mínimos de eficiencia energética, ver tabla A.17.

Tabla A-17 Estándar mínimo de eficiencia energética, propuesto en Perú, año 2009 [39].

Tipo de refrigerador	Estándar Mínimo de Eficiencia Energética en kWh /año/litro para un volumen ajustado cero*
Refrigerador congelador	209
Refrigerador sin escarcha, congelador superior	255
Refrigerador sin escarcha, congelador inferior	189
Enfriador doméstico	205
Refrigerador convencional	185
Refrigerador side by side	310

Las condiciones para realizar el ensayo son a nivel del mar y temperatura ambiente 32°C

ANEXO B: ARQUETIPOS

Límites del Crecimiento.

Este arquetipo establece que el crecimiento no puede continuar sin cesar en un irrestricto refuerzo dinámico. Siempre hay límites que con el tiempo se presentan, se dan a conocer o se perciben (ver figura 2.6).

Se plantea la hipótesis de que los continuos esfuerzos producirán rendimientos decrecientes cuando se acercan a los límites.

Los esfuerzos que tienen éxito hacen crecer en las etapas iniciales, posiblemente de manera exponencial, sin embargo a medida que se acercan a los límites del crecimiento, el motor de crecimiento comienza a perder su eficacia y la tasa de crecimiento comienza a aplanarse en el extremo, a pesar de la continua presión desde el motor de crecimiento, la tasa de crecimiento se detiene y se invierte [66].

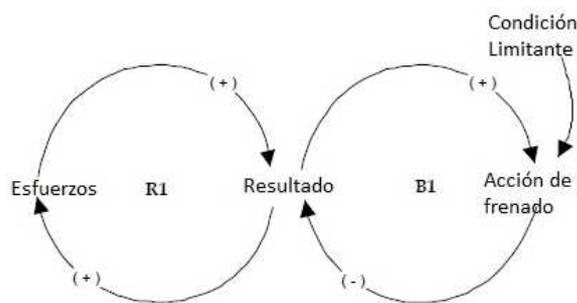


Figura B.1 Arquetipo límites de crecimiento [66].

Desplazamiento de la Carga.

Ilustran la tensión entre la atracción de la búsqueda de soluciones a los problemas sintomáticos visibles y el impacto a largo plazo de las soluciones fundamentales dirigidos a las estructuras subyacentes que producen el patrón de comportamiento en primer lugar (ver figura 2.7).

La esencia del desplazamiento de la carga es que una vez que la solución ha tenido su efecto, se percibe poca necesidad de prestar más atención a lo fundamental, problema sistémico subyacente [66].

Cada vez que una intervención se dirige a los síntomas del problema, alguna mejora temporal del rendimiento es experimentada, esto hace pensar que la intervención está bien planeada, sin embargo el problema subyacente persiste con la reaparición de los síntomas invariablemente.

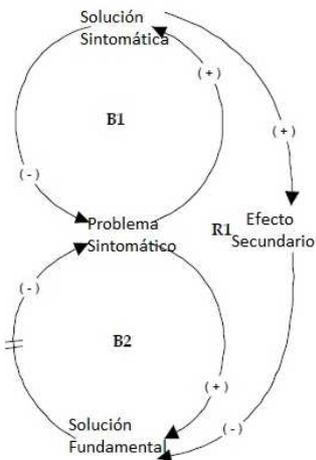


Figura B.2 Arquetipo Desplazamiento de la carga [66].

Erosión de Metas.

Mantiene una similitud básica con el arquetipo desplazamiento de la carga en lo que respecta a la tensión dinámica entre una solución sintomática y una fundamental (ver figura 2.8).

Cuando un rendimiento no cumple con una meta establecida se busca una justificación (la solución sintomática) para cambiar el objetivo a uno que parece ser más alcanzable en lugar de determinar con rigor lo que impide que la organización desempeñe como originalmente se esperaba (la solución fundamental).

A diferencia de otros arquetipos, este examina el comportamiento dinámico en el presente que es el resultado de las previsiones de futuro hecha en el pasado. El argumento para el ajuste de la meta no carece de fundamento - el futuro no se puede saber con certeza, por lo que puede resultar que el pronóstico sea equivocado [66].

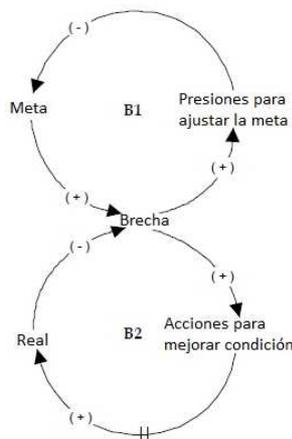


Figura B.3 Arquetipo erosión de metas [66].

Este arquetipo señala que una brecha entre una meta y una condición real, lo que se puede resolver de dos maneras: mediante la adopción de medidas correctivas para llegar a la meta, o mediante su reducción. Se plantea la hipótesis de que cuando hay una brecha entre un objetivo y una condición, la meta es bajada para cerrar la brecha. Con el tiempo, la reducción de la meta deteriorará el rendimiento.

Escalación.

El arquetipo Escalación (ver figura 2.9) presenta una ironía de la gestión, los gerentes tienen comportamientos a escalada hasta el punto en que dañan sus organizaciones y reducen el valor a los clientes, los grupos de interés y accionistas [66].



Figura B.4 Arquetipo Escalación [66].

El Éxito para el Exitoso.

El arquetipo éxito del exitoso (ver figura 2.10) describe la práctica común de la buena actuación gratificante con más recursos en la expectativa de que el rendimiento seguirá mejorando. Los gerentes pueden descubrir que el rendimiento actual es más una cuestión de condiciones iniciales y, con una buena planificación, asignación de recursos cuidadosa y una buena ejecución, las personas de bajo rendimiento, los departamentos o los productos se pueden transformar en ganadores [66].

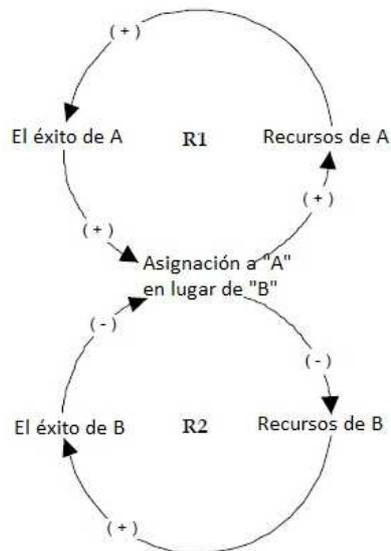


Figura B.5 Arquetipo del éxito para el exitoso [66].

Tragedia de los Comunes.

La Tragedia de los Comunes, ofrece información detallada sobre el efecto que tiene un enfoque no - sistémico en la estructura de la organización, y su rendimiento global a largo plazo (ver figura 2.11).

Los propios objetivos de la organización comienzan a erosionar, para reflejar la disminución de la capacidad de los comunes para apoyar las metas y objetivos de los individuos y los equipos que dependen de los bienes comunes. Esto puede tener consecuencias de largo alcance en términos de ventaja competitiva de la empresa en los mercados en los que compita [66].

Los bienes comunes en sí se deterioran como un recurso valorado y valioso para el punto en el que es considerado como una de las causas del fracaso que del éxito.

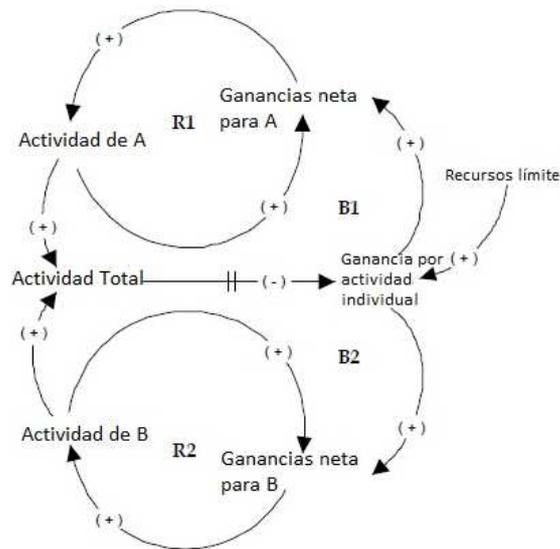


Figura B.6 Arquetipo Tragedia de los comunes [66].

Arreglos que Fallan.

Cuando los gerentes se encuentran diciendo: "Creo que hemos arreglado esto - ¿por qué es peor de lo que era antes?". Este arquetipo es también un buen reflejo de los peligros del pensamiento reduccionista - a pesar de sus mejores esfuerzos los gerentes se encuentran frente a los mismos síntomas del problema, aunque de una variedad de diferentes colores y sabores, una y otra vez [66].



Figura B.7 Arquetipo Arreglos que Fallan [66].

Crecimiento y la Falta de Inversión.

El arquetipo de Crecimiento y La falta de inversión (ver figura 2.12) se basan en límites del crecimiento al abordar explícitamente la necesidad de una empresa para invertir en sus propios recursos, las capacidades y las competencias básicas. Una acción de crecimiento busca estimular y reforzar la demanda, mientras que el nivel de rendimiento actual de la empresa se puede comportar como el límite a su crecimiento [66].

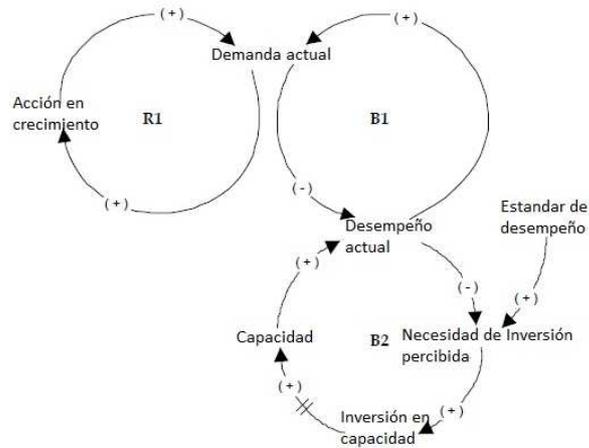


Figura B.8 Arquetipo Crecimiento y la Falta de Inversión [66].

Adversarios Accidentales.

Los adversarios accidentales comienzan su relación con los objetivos de beneficio mutuo y los objetivos en mente, generalmente aprovechan sus respectivas fortalezas, minimizan sus respectivas debilidades, con el objetivo de lograr juntos lo que no se puede lograr por separado (ver figura 2.13).

La tendencia de cada uno de los adversarios sigue una dirección y la velocidad de cambio similar, con uno de los adversarios que arrastra el otro. El patrón muestra períodos de nivelación periódicas, aunque en general la tendencia será en una dirección que afecte negativamente a ambas partes [66].

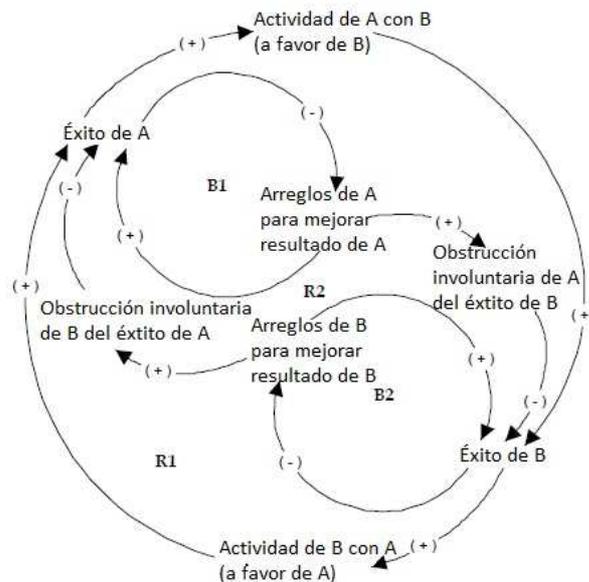


Figura B.9 Arquetipo Adversarios Accidentales [66].

Principio de Atracción.

El arquetipo debe su nombre a la disyuntiva de decidir cuál de los límites se debe abordar en primer lugar, es decir, lo que es más atractivo en términos de futuro beneficio para los resultados deseados que están siendo empujados por el esfuerzo o creciente acción (ver figura 2.14).

El principio de atracción se presenta con frecuencia en las organizaciones. Cuando se enfrentan a múltiples desafíos, los gerentes deben decidir qué problema / síntoma aparece más atractivo como un potencial para mejorar la salud general de la organización [66].



Figura B.10 Arquetipo Principio de Atracción [66].