



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN  
INGENIERIA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“ESTUDIO METODOLÓGICO PARA EL  
DESARROLLO DE POLÍTICAS ENERGÉTICAS  
PARA EL USO EFICIENTE DE ENERGÍA EN  
REFRIGERACIÓN DOMÉSTICA EN MÉXICO”**

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
**DOCTOR EN INGENIERIA**

(ENERGÍA – PROCESOS Y USO EFICIENTE DE ENERGÍA)

P R E S E N T A:

**FERNANDO GABRIEL ARROYO CABAÑAS**

TUTOR:

**DR. JAVIER EDUARDO AGUILLÓN MARTÍNEZ**

Diciembre de 2010



## **JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Juan José Ambriz García

Secretario: Dr. Javier Eduardo Aguillón Martínez

Vocal: Dr. Isaac Pilatowsky Figueroa

1er. Suplente: Dr. Martín Salinas Vázquez

2do. Suplente: Dr. Pablo Samuel Schabes Retchkiman

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional  
Autónoma de México

## **TUTOR DE TESIS:**

Dr. Javier Eduardo Aguillón Martínez



---

**FIRMA**

## **Agradecimientos**

**A mis padres y mi hermana**

**A mis amigos, compañeros y profesores**



**Al Dr. Ambriz por su gran apoyo y por las facilidades otorgadas para usar el Laboratorio de Ambiente Controlado de la UAM-I**

**En recuerdo de Gerardo Canizal**

# “Estudio Metodológico para el Desarrollo de Políticas Energéticas para el uso Eficiente de Energía en Refrigeración Doméstica en México”

## Índice

<b>Objetivos</b>	<b>1</b>
<b>Resumen</b>	<b>2</b>
<b>Abstract</b>	<b>4</b>
<b>Capítulo I</b>	
<b>Marco Conceptual y Descripción del Modelo Presión-Estado-Respuesta</b>	
1.1. Introducción	6
1.2. Definición de indicadores	7
1.3. Empleo de los indicadores complejos	9
1.4. Modelo Presión – Estado – Respuesta	10
1.5. Adecuación del Modelo PER	12
1.6. Elaboración de los indicadores complejos	14
1.7. Análisis de unidades	17
1.8. Categorías para agrupar a los indicadores	20
1.8.1. Categoría Medio Ambiente	21
1.8.2. Categoría Económica	21
1.8.3. Categoría Tecnológica	21
1.8.4. Categoría Social	22
1.8.5. Categoría Salud	22
1.9. Resumen	24
<b>Capítulo II</b>	
<b>Desarrollo de Indicadores Macro y Agrupación por Categorías</b>	
2.1. Introducción	25
2.2. Descripción, integración y desarrollo de Indicadores Macro	26
2.2.1. Indicadores Macro categoría económica	26
2.2.2. Indicadores Macro categoría medio ambiente	28
2.2.3. Indicadores Macro categoría social	29
2.2.4. Indicadores Macro categoría salud	30
2.2.5. Indicadores Macro categoría tecnológica	31
2.3. Vectores Independientes	32
2.4. Elaboración de indicadores Macro por categoría	36
2.4.1. Indicadores Macro categoría económica	36

2.4.2. Indicadores Macro categoría ambiental	38
2.4.3. Indicadores Macro categoría social	40
2.4.4. Indicadores Macro categoría salud	42
2.4.5. Indicadores Macro categoría tecnológica	44
2.5. Resumen	48

### Capítulo III

#### Parque de Refrigeradores Domésticos en México y Escenarios Base

3.1. Introducción	49
3.2. Parque de refrigeradores domésticos a nivel nacional	50
3.3. Escenarios base	53
3.4. Escenario base categoría económica	53
3.4.1. Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por región	54
3.4.2. Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por estación del año	55
3.4.3. Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por eficiencia	56
3.4.4. Costo promedio de los refrigeradores domésticos por tamaño	58
3.5. Escenario base categoría ambiental	59
3.5.1. Emisiones de CO <sub>2</sub> por refrigeración doméstica por región	60
3.5.2. Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por región	61
3.5.3. Emisiones de CO <sub>2</sub> por refrigeración doméstica por estación del año	62
3.5.4. Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por estación del año	64
3.5.5. Emisiones de CO <sub>2</sub> por refrigeración doméstica por tamaño	65
3.5.6. Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por tamaño	66
3.6. Escenario base categoría social	68
3.6.1. Total de viviendas con servicio eléctrico por región	68
3.6.2. Total de viviendas con servicio eléctrico sin refrigerador por región	70
3.6.3. Total de viviendas con servicio eléctrico con refrigerador por tamaño	71
3.7. Escenario base categoría salud	72
3.7.1. Defunciones por enfermedades estomacales por vivienda con refrigerador por región	73
3.7.2. Ventas de refrigeradores domésticos por región	74
3.7.3. Ventas de refrigeradores domésticos por tamaño	75
3.8. Consumo de energía del parque de refrigeradores domésticos	77
3.8.1. Simulación de las condiciones climáticas	77
3.8.2. Desarrollo experimental y evaluación del consumo de energía	79
3.9. Escenario base categoría Tecnológica	84
3.9.1. Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por región	84

3.9.2. Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por estación del año	86
3.9.3. Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por eficiencia	87
3.9.4. Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por tamaño	88
3.10. Resumen	90

#### **Capítulo IV**

##### **Estudio de Políticas Energéticas en México**

4.1. Introducción	91
4.2. Políticas públicas de México	92
4.3. Política energética para los refrigeradores domésticos en México	94
4.4. Agrupación de los indicadores Macro por categoría	96
4.4.1. Agrupación de indicadores complejos categoría Económica	96
4.4.2. Agrupación de indicadores complejos categoría Ambiental	97
4.4.3. Agrupación de indicadores complejos categoría Social	98
4.4.4. Agrupación de indicadores complejos categoría Salud	99
4.4.5. Agrupación de indicadores complejos categoría Tecnológica	100
4.5. Validación de los escenarios base	101
4.5.1. Modelo utilizado	102
4.5.2. Estimación de parámetros	105
4.5.3. Pruebas de significancia del modelo	108
4.5.4. Validación del modelo	114
4.6. Ejemplos de validación de escenarios base	116
4.7. Resumen	123

#### **Capítulo V**

##### **Metodología para el desarrollo de políticas energéticas en México**

5.1. Introducción	124
5.2. Proceso de extracción de conocimiento	125
5.3. Modelización Estadística Predictiva	129
5.3.1. Error estándar de estimación	132
5.3.2. Coeficiente de determinación y validación del modelo	134
5.4. Análisis de Resultados	135
5.4.1. Cuadros de mando	136
5.4.2. La teoría de utilidad Multiatributo (MAUT)	139
5.4.3. Mapeos Gráficos	141
5.5. Pirámide de Jerarquización	145
5.6. Planteamiento y Elaboración de Escenarios Prospectivos	154
5.7. Resumen	172

---

<b>Conclusiones</b>	<b>173</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>178</b>
<b>Anexos</b>	<b>185</b>
<b>Publicaciones en revistas y congresos</b>	<b>205</b>

## Objetivos

### General

Desarrollar una metodología que permita proponer una nueva política energética para el uso eficiente de la energía eléctrica de los refrigeradores domésticos en México, empleando el modelo Presión-Estado-Respuesta (PER), y el esquema de categorías utilizado por la ONU para el desarrollo sustentable, el cuál permite generar un esquema de jerarquización de prioridades.

### Particulares

- Establecer el marco conceptual, definiciones y selección de indicadores adecuados
- Describir el Modelo PER y adecuarlo al estudio
- Elaborar un conjunto de Indicadores complejos
- Definir las categorías que agrupan a los indicadores complejos
- Describir y desarrollar los indicadores macro
- Estudiar el parque de refrigeradores domésticos empleados en México (tecnología, marcas, eficiencia y consumo eléctrico, ventas, producción, distribución, etc)
- Establecer los escenarios base por categoría
- Analizar el consumo de electricidad de los refrigeradores domésticos de acuerdo a las variables tales como la tensión de suministro, temperatura ambiente y condiciones de operación
- Estudiar las políticas públicas en México
- Establecer las políticas energéticas para los refrigeradores domésticos
- Desarrollar el proceso de extracción de conocimiento
- Analizar los resultados obtenidos
- Establecer la pirámide de jerarquización
- Plantear y elaborar escenarios prospectivos
- Desarrollar una nueva política energética enfocada al uso eficiente de la energía eléctrica en el parque de refrigeradores domésticos

## Resumen

Para conseguir los objetivos propuestos se tendrá que desarrollar una metodología que estará contenida en los diferentes capítulos de esta tesis. A continuación se describe brevemente la estructura en cada uno de ellos.

En el capítulo uno se presentará el marco conceptual y la descripción del Modelo PER, primeramente se plantea la definición de los indicadores, para tener la certeza de emplearlos adecuadamente, luego se describe el modelo PER, junto con su adecuación de acuerdo con los objetivos y las necesidades que tiene la metodología a la que se pretende llegar. Posteriormente se llevará a cabo la elaboración de un conjunto de indicadores complejos tomando como referencia el modelo PER; esto con la finalidad de poder integrar un grupo de categorías que se basan en la estructura de la ONU para el desarrollo sustentable; aunque para el caso de esta investigación se agregaran 2 nuevas categorías. Además se describirá brevemente la forma en como se organizarán dichas categorías, la cuál será como una pirámide de jerarquización, en donde el objetivo principal es el desarrollo de una metodología que permita llegar a proponer y poner en marcha una nueva política energética.

En el capítulo dos se hará la descripción, integración y desarrollo de un nuevo grupo de indicadores, llamado Macro, para cada una de las categorías, además se planteará la elaboración de un conjunto de elementos llamados vectores independientes, que servirán para filtrar toda la información que se genere a través de los indicadores complejos. Posteriormente se integrarán las expresiones algebraicas que definirán las tendencias y comportamientos de los indicadores macro en un periodo de tiempo específico.

Para el capítulo tres se llevará a cabo la integración del parque de refrigeradores domésticos, tanto a nivel nacional como regional. También se constituirá un grupo de escenarios base en donde se integrarán los indicadores complejos que conforman cada una de las categorías. Estos escenarios son base fundamental para el desarrollo de la metodología que se desea integrar. Por otra parte, para formar el escenario base de la categoría tecnológica se estimará el consumo de energía del total de los refrigeradores domésticos, por medio de pruebas experimentales que contemplan la simulación de las condiciones climáticas en donde operan los refrigeradores domésticos.

En el capítulo cuatro se estudiarán las políticas energéticas para México, partiendo de un análisis de las gubernamentales, con ello se propondrá una nueva política energética relacionada con el uso eficiente de la energía del parque de refrigeradores domésticos. Con este estudio se llevará a cabo la agrupación de los indicadores complejos, en uno macro para cada categoría. Posteriormente hará una validación matemática de los escenarios base por medio de regresiones lineales múltiples; y finalmente se presentarán una serie de ejemplos de la validación por medio de indicadores complejos.

Para el capítulo cinco se llevará a cabo la estructura metodológica que sirve para el desarrollo de una nueva política energética para los refrigeradores domésticos en México; para ello, primeramente se llevará a cabo el proceso de extracción de conocimientos empleando la minería de datos, la cuál que permite validar la metodología considerando los diversos factores que la integran. Posteriormente se hará una modelización predictiva para cada uno de los indicadores complejos, incluyendo su validación matemática; esto con el propósito de poder integrar elementos de ponderación a cada una de las expresiones. Más adelante se hará un análisis de resultados empleando cuadros de mando y un mapeo grafico basado en la teoría multicriterio. Con la información obtenida se procederá a realizar una pirámide de jerarquización donde se ubicarán a las categorías según la prioridad y la política que se desea llevar a cabo; además de plantear escenarios prospectivos en donde se considere continuar con dichas políticas energéticas que se encuentran en vigor, o en su defecto proponer un cambio de éstas que producen nuevos escenarios prospectivos.

Para finalizar, se presentan las conclusiones generadas con el estudio, derivadas de los distintos objetivos particulares, que a vez responden al objetivo general propuesto. Posteriormente se presentan las posibles líneas futuras de investigación surgidas como consecuencia del trabajo desarrollado en la presente tesis doctoral.

## Abstract

To achieve the proposed objectives will need to develop a methodology that will be contained in the various chapters of this thesis. A brief description of the structure in each of them.

In Chapter one will present the conceptual framework and description of the PER model, first there is the definition of indicators, to be sure to use them properly, then describes the PER model, together with its suitability in accordance with the objectives and needs to have the methodology to be trying to reach. Subsequently carry out the development of a complex set of indicators with reference to the PER model, that in order to integrate a group of categories based on the structure of the UN for sustainable development, although in the case of this research adds 2 new categories. You will briefly describe how it is organized as categories, which is like a pyramid of hierarchy, where the main objective is to develop a methodology to get to propose and implement a new energy policy.

In chapter two will be the description, integration and development of a new set of indicators, called Macro, for each of the categories, in addition will consider the development of a set of elements called independent vectors, which serve to filter the information is generated by complex indicators. Subsequently be integrated algebraic expressions that define the trends and behavior of macro indicators in a specific time period.

Chapter Three to carry out the integration of domestic refrigerators Park, both nationally and regionally. Also set up a task-based scenarios which integrate complex indicators that make up each of the categories. These scenarios are the foundation for the development of the methodology you wish to integrate. Moreover, to form the basis scenario more technological estimate the total energy consumption of household refrigerators, through experimental tests that include the simulation of climatic conditions in which they operate domestic refrigerators.

Chapter four will explore the energy policies in Mexico, based on an analysis of the government, this will propose a new energy policy regarding the use of energy efficient domestic refrigerators park. This study was carried out by the group of complex indicators, in a macro for each category. Subsequently make a mathematical validation of the scenarios based on multiple linear regressions, and finally present a series of examples of validation via complex indicators.

Chapter Five to carry out the methodological framework used to develop a new energy policy for domestic refrigerators in Mexico, for paper, first, carry out the extraction of knowledge using data mining, which to validate the methodology considering the various factors within it. Later there will be a predictive modeling for each complex indicators, including their mathematical validation, that in order to integrate elements of weighting each of the expressions. Later there will be an analysis of results using dashboards and

graphical mapping multi-theory. With the information obtained will proceed to make a pyramid of hierarchy which will be located to the categories according to priority and the policy that you want to do, besides raising prospective scenarios where they consider continuing with such energy policies that are in force , or else they propose a change to produce new prospective scenarios.

Finally, we present the conclusions generated by the study, derived from the different specific objectives, which in turn respond to the proposed overall objective. Then, we present possible future researches that arise from the work developed in this PhD thesis.

## Capítulo I

### Marco Conceptual y Descripción del Modelo Presión-Estado-Respuesta

#### 1.1. Introducción

Los indicadores surgen como herramientas necesarias para el análisis y seguimiento de diferentes políticas, tendencias y procesos, tanto de desarrollo y tecnología como en el ámbito de la investigación y docencia. Las estrategias para desarrollar un grupo de indicadores se elaboran y aplican a diferentes niveles y sus efectos y consecuencias se observan a otras escalas. Es por eso que los indicadores deben seleccionarse en función de sus características y de las necesidades de quien desea implementarlos. En el presente capítulo se establecerán las definiciones y el marco conceptual para preparar una serie de indicadores que puedan ser utilizados en la evaluación, seguimiento y diseño de políticas energéticas relacionadas con el uso racional de la energía por concepto de refrigeración doméstica. Además de que con éstos se permita la evaluación cuantitativa de la situación energética actual de México en el sector residencial.

Además se describirá la adaptación del Modelo Presión-Estado-Respuesta (PER) a las necesidades y objetivos del estudio. El Modelo PER fue desarrollado por la OCDE<sup>1</sup> para estructurar políticas ambientales, en donde se considera que las actividades humanas ejercen Presión sobre el ambiente y los recursos naturales, afectando su calidad y cantidad respectivamente (Estado); la sociedad responde a éstos cambios a través de políticas ambientales sectoriales y económicas generales y a través cambios en su comportamiento y conciencia hacia el medio ambiente (Respuesta).

Este marco de organización de indicadores ambientales permite hacer una analogía del modelo PER para desarrollar una serie de indicadores energéticos y determinar los factores que afectan en el consumo de energía eléctrica de los refrigeradores domésticos a través de dichos indicadores, y así poder dar respuesta a algunos de los objetivos específicos del estudio, como el determinar el potencial de ahorro de energía por sustitución del parque de refrigeradores domésticos en México, además de establecer las regiones del país a las cuales se deberán de dar prioridad para efectuar una sustitución acelerada del parque de refrigeradores domésticos con el que cuente en ese momento y formular y emitir las metodologías y procedimientos para cuantificar el consumo de energía por refrigeración doméstica.

El Modelo PER resalta las relaciones de causa – efecto por medio de indicadores mostrando cómo están interrelacionados el ambiente, la economía y la sociedad, aunque para el propósito de la presente investigación, se tendrán que agregar dos rubros mas (Tecnología y salud). Tiene la ventaja de ser uno de los marcos de

---

1 Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), 2003. Environmental Indicators. Development, Measurement and Use. <http://www.oecd.org/dataoecd/7/47/24993546.pdf>

referencia de más fácil uso y entendimiento por lo que ha sido base del desarrollo de modelos más complejos.

## 1.2. Definición de indicadores

En términos coloquiales, un indicador no es más que un elemento que ofrece información más allá del dato mismo, permitiendo un conocimiento más comprehensivo del concepto que se desea analizar. El indicador es una medida de la parte observable de un fenómeno que permite valorar otra porción no observable de dicho fenómeno<sup>2</sup>. Se convierte pues en un elemento que "indica" determinada información sobre una realidad que no se conoce de forma completa o directa: el nivel de desarrollo tecnológico, el aspecto social, la salud, etc. Por otra parte, un indicador puede ser la forma más simple de reducción de una gran cantidad de datos, manteniendo la información esencial para las cuestiones planteadas a los datos<sup>3</sup>. El indicador ha de permitir una lectura comprensible y científicamente válida del fenómeno a estudiar.

Por ello, la teoría de Gallopín<sup>4</sup> resulta adecuada para aplicarse a un análisis energético. Este autor define a los indicadores como representaciones operativas de una cualidad (calidad, característica, propiedad) de un sistema. Los indicadores por tanto son imágenes de un atributo, las cuales son definidas en términos de un procedimiento de medida u observación determinado. Cada indicador puede asociarse a una serie de valores o estados a través de los cuales se manifiesta.

Las tres funciones básicas de los indicadores son<sup>5</sup>: simplificación, cuantificación e interpretación de los datos. Los indicadores representan la realidad a través de la disminución del número de componentes. Además, miden cuantitativamente el fenómeno que se desea representar. El término indicador se refiere a la especificación de conceptos que no pueden ser completamente medidos de forma operativa, como el bienestar social o la sustentabilidad de un sistema. En el presente trabajo de investigación, las funciones básicas de los indicadores que se desarrollen, estarán vinculadas con la eficiencia energética de los refrigeradores domésticos, y tienen una utilidad informativa y predictiva orientada hacia la implementación de una nueva política energética relacionada con el parque de refrigeradores domésticos en México.

Normalmente los indicadores se dividen en simples y complejos. Los primeros hacen referencia a estadísticas no muy elaboradas, obtenidas directamente, normalmente presentadas en forma relativa a la población. La información que se infiere de estos indicadores es muy limitada. Los indicadores complejos son medidas en algunas ocasiones adimensionales resultado de combinar varios indicadores simples. La

---

<sup>2</sup> Chevalier, S.; R. Choiniere y L. Bernier (1992): User guide to 40 Communing Health Indicators. Community Health Division. Health and Welfare Canada, Ottawa.

<sup>3</sup> Ott, W.R. (1995): Environmental Statistics and Data Analysis. Lewis Publishers. Boca Raton. California.

<sup>4</sup> Gallopín, G.C. (1996): Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators, A system approach. Environmental Modelling and Assessment.

<sup>5</sup> OCDE (2001): OCDE Environmental Outlook. OCDE Paris.

información que se obtiene de estos indicadores es mayor, aunque la interpretación de la misma es en muchos casos más difíciles y con ciertas restricciones. Los indicadores que se emplearán en este estudio serán de ambos tipos (simples y complejos); además de proponer un nuevo conjunto de indicadores que se llamarán Macro y se describirán más adelante.

Los indicadores complejos se encuentran integrados por dos o más simples, los que a su vez están formados por elementos llamados variables, éstas se obtendrán a través de datos estadísticos, encuestas, pruebas experimentales y cálculos, entre otros. Las características que tendrán dichas variables son las siguientes:

- Representatividad: La información es una estimación realista de los datos agrupados en torno a él.
- Sensibilidad a los cambios: Las variables señalan los cambios de las tendencias tanto a corto como a medio plazo.
- Fiabilidad de los datos: Los datos deberán ser lo más fiable posible así como de buena calidad.
- Cobertura Geográfica: Las variables tendrán una cobertura a nivel nacional y, en su caso, por regiones del país.

De acuerdo con las características antes mencionadas se desarrollo e integro un conjunto de variables que serán fundamentales para estructurar los indicadores simples que se emplearán en este estudio. La selección de éstas se realizó considerando estudios anteriores<sup>6</sup> de eficiencia energética en refrigeradores y se muestran a continuación:

- Costo anual de la energía
- Precios medios de la electricidad
- Precio de los refrigeradores domésticos
- Gastos por refrigeración en los hogares
- Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores
- Eliminación de desechos domésticos generados por refrigeradores
- Total de refrigeradores domésticos
- Evolución de la Población
- Viviendas en el sector residencial
- Ahorro de energía por cambio de refrigerador doméstico
- Total de refrigeradores de baja eficiencia
- Total de refrigeradores eficientes
- Consumo total de energía

---

<sup>6</sup> Arroyo, C. F. 2002. Estudio de la eficiencia energética de refrigeradores domésticos dentro de un laboratorio de ambiente controlado. Tesis de Maestría. UNAM. DEPFI.

- Temperatura ambiente de operación de los refrigeradores
- Año de fabricación del refrigerador
- Tiempo de uso del refrigerador
- Distribución del parque de refrigeradores domésticos
- Producción y ventas de refrigeradores domésticos

Algunas de las variables pueden ser cuantificadas por medio de estadísticas, reportes o anuarios, mientras que otras serán obtenidas a través de la experimentación, con base en la norma oficial<sup>7</sup> o en función de las condiciones normales de operación a las cuales se encuentren funcionando los refrigeradores. Con la integración y selección de las variables que se utilizarán para constituir el conjunto de indicadores simples, se pueden identificar cuáles de éstos son los más óptimos para usarse en la elaboración de los indicadores complejos. Aunque cabe señalar que las variables antes descritas no serán las únicas a emplear, se espera que más adelante se integren otras tantas, con el fin de ampliar la investigación y tener una mayor información generada.

### 1.3. Empleo de los Indicadores Complejos

Los indicadores complejos pueden emplearse en un amplio abanico de posibilidades, dependiendo de la complejidad y análisis de información que se desee llevar a cabo. Se pueden nombrar cuatro grandes grupos en donde se podrían llegar a utilizar, los cuáles se muestran a continuación:

- a) Modelización. Un grupo de indicadores complejos elaborado de forma rigurosa que permite el análisis de los elementos que componen un sistema o categoría, junto a los subsistemas derivados y las relaciones entre los elementos, tanto desde un punto de vista estático, como dinámico, analizando el cambio de las variables en función del tiempo.
- b) Simulación. A partir del modelo es posible utilizar los indicadores complejos para analizar las variaciones que se producen alterando sólo algunos componentes y manteniendo el resto sin variación.
- c) Seguimiento y Control. Establecidos unos valores objetivos o metas, los indicadores complejos permiten cuantificar el grado de consecución de los mismos, así como las causas que llevan a dicha situación.
- d) Predicción. Al trabajar con fenómenos que varían en el tiempo es posible, a partir de un sistema fiable de indicadores complejos y las series históricas, estimar la tendencia de un futuro más o menos cercano.

Dada la complejidad del estudio y en relación a los sistemas de indicadores que pueden utilizarse, se llegó a la conclusión de que el sistema de “Simulación” es el más

---

<sup>7</sup> Norma Oficial Mexicana. NOM-015-ENER-2002; Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos – Límite, métodos de prueba y etiquetado. Diario Oficial, México D.F., 15 de Enero del 2003.

apropiado, ya que se pretende integrar a los indicadores adecuados y éstos se puedan extrapolar a otro tipo de tecnología electrodoméstica, o también al estudio de políticas de desarrollo y transferencia de tecnología en diversos sectores del país.

Además de que los indicadores complejos empleados para la simulación tienen la capacidad de resolver problemas relacionados con la falta de información que hay en el sector residencial y el uso de refrigeradores domésticos. Sin embargo, esta información tendrá que ser homogeneizada para compatibilizar y poder usar los indicadores simples y así evitar los problemas de comparación en espacio y tiempo. La elaboración de los indicadores complejos de simulación que se utilizarán en esta investigación se describe más adelante, debido a que en este apartado solo se exponen las definiciones y el marco teórico sobre el desarrollo de los mismos.

Para la selección, elaboración y agrupamiento de los indicadores complejos relacionada con el tema de investigación, es necesario tener un modelo que permita extrapolar los conceptos antes descritos hacia los objetivos del estudio, en donde se puedan estructurar e integrar informaciones diversas y dispersas provenientes de varias fuentes y obtener un conjunto de indicadores confiables y de utilidad; para ello existe la posibilidad de emplear un modelo ambiental que cubra estas necesidades.

#### **1.4. Modelo Presión-Estado-Respuesta**

Existen varios modelos de organización de grupos de indicadores, los que siguen una estructura o categoría sectorial (agricultura, transporte, industria, residencial, etc.), y los que se enfocan a objetivos o por tipo de recursos (agua, tierra, biodiversidad, energía, entre otros). El modelo que más se adapta a esta investigación es el de categorías, ya que el sector en donde se encuentra ubicado el parque de refrigeradores domésticos es el residencial, y a éste le afectan de forma directa, los cambios sociales, económicos, tecnológicos o ambientales, que pasan en el país. Debido a esto es que se consideró emplear la forma de agrupar indicadores que maneja el Modelo Presión-Estado-Respuesta (PER)<sup>8</sup>, que se basa en el concepto de causalidad. Las actividades humanas ejercen PRESIONES sobre el medio ambiente y modifican la cualidad y calidad (ESTADO) de los recursos naturales.

La sociedad responde a estos cambios a través de políticas ambientales, macroeconómicas y sectoriales (RESPUESTAS). Éstas últimas producen una retroalimentación dirigida a modificar las presiones a través de las actividades humanas (Figura 1.1). En un contexto global, estos pasos pueden formar parte de un análisis en donde se puede incluir la percepción de los problemas y la formulación de políticas, así como el seguimiento y la evaluación de un proyecto o iniciativa en específico.

---

<sup>8</sup> OCDE (2003): *Op. Cit.*

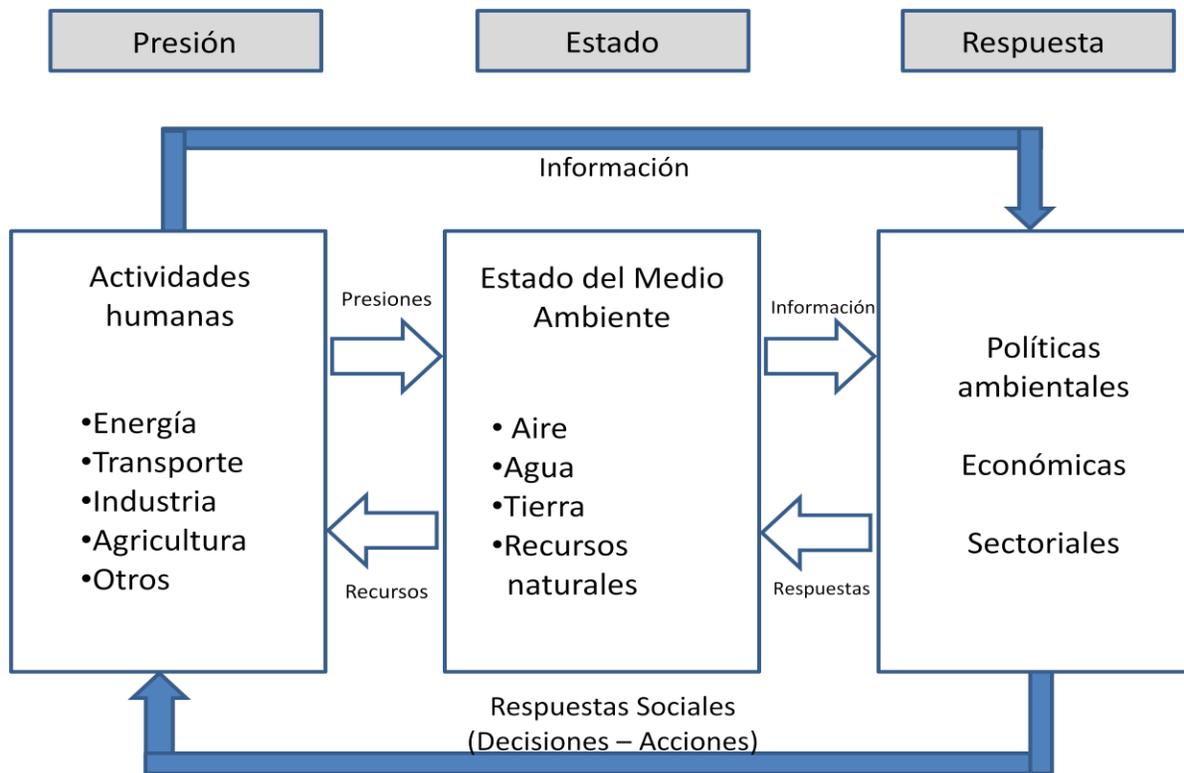


Figura 1.1. Modelo Presión-Estado-Respuesta  
Fuente: OCDE, 2003

Dentro del modelo PER se pueden distinguir tres formas de agrupar a los indicadores:

- Indicadores de Presión. Describen las presiones de las actividades humanas sobre el medio ambiente, incluyendo la calidad y cantidad de los recursos naturales. Se puede distinguir entre indicadores de presión directa e indicadores de presión indirecta.
- Indicadores de condiciones o Estado. Están relacionados con la calidad del medio ambiente y la cantidad y calidad de los recursos naturales. Proveen una visión de la situación actual del medio ambiente y su desarrollo a lo largo del tiempo, y no la presión sobre el mismo. Sin embargo, en muchos casos, la diferencia entre indicadores de presión y de estado es muy ambigua y suelen utilizarse en el mismo sentido.
- Indicadores de Respuesta. Estos indicadores son medidas que muestran el grado en que la sociedad responde a los problemas y cambios en la calidad del medio ambiente. Las respuestas sociales están referidas a acciones individuales y colectivas que están dirigidas a mitigar, adaptar o prevenir los impactos negativos inducidos sobre el medio ambiente y detener o reparar los daños ambientales ya producidos.

Con la agrupación de los indicadores dentro del Modelo PER se puede abordar la complejidad propia de los problemas ambientales, no solo porque las interrogantes a las que responde son propias de un proceso de gestión y toma de decisión en materia ambiental; sino porque también se reflejan las fuerzas que modifican dicho estado (dinámica económica o social predominantes en una región o país, entre otras) si el esfuerzo social que se lleva a cabo es para mejorarlo y revertir las presiones que lo deterioran.

Esto último es particularmente importante para el estudio, ya que permite establecer las bases para adecuar el Modelo PER en términos de la eficiencia energética del parque de refrigeradores domésticos, ya que presenta varias bondades en relación a la metodología que se pretende establecer más adelante. Lo que corresponde ahora es adecuar dicho modelo ambiental hacia uno en donde se integren todos los elementos que constituyen la investigación.

### **1.5. Adecuación del modelo PER**

Este marco de organización de indicadores ambientales permite hacer una analogía del modelo PER hacia otra en donde se integren todos los factores que afectan en el consumo de energía eléctrica de los refrigeradores domésticos, y así poder dar respuesta a los objetivos específicos del estudio, como el determinar el potencial de ahorro de energía por sustitución del parque de refrigeradores domésticos en México, además de establecer las regiones del país a las cuáles se deberán de dar prioridad para efectuar una sustitución acelerada de los aparatos que se encuentren en ese momento trabajando.

La determinación del consumo de energía por el concepto de refrigeración describe la importancia del uso que tiene esta tecnología en los hogares mexicanos, y que muchas veces no se toma en cuenta por la falta de información, o por el poco interés que existe de las personas hacia este electrodoméstico tan importante dentro de las viviendas. Por ello, la evaluación del consumo de energía, para la mayoría de los refrigeradores domésticos que existe actualmente en el país, es muy importante, ya que servirá para proponer una serie de políticas gubernamentales sobre la sustitución del parque de refrigeradores domésticos actuales por refrigeradores más eficientes; y también determinar el posible ahorro que existe si este programa se realiza a la brevedad posible.

En México y de acuerdo con los datos del censo de población y vivienda, los conteos de población y vivienda y los informes de ventas y producción de refrigeradores, y pruebas experimentales se estima que en el año de 2008 el parque de refrigeradores domésticos fue de poco más de 24 millones, y consumían alrededor de 12.7 TWh/año, lo que representa un potencial de ahorro de energía de 4 TWh/año si se considera una sustitución acelerada de los equipos menos eficientes.

Para poder llevar a cabo el potencial de ahorro de energía y los demás objetivos de la investigación es necesario plantear la adecuación del Modelo PER, donde los

indicadores se ubicarán de acuerdo con su contribución en Presión, Estado o Respuesta (Figura 1.2). Con esto es posible llegar a identificar en donde se presentan los consumos más representativos de energía en el parque de refrigeradores domésticos, así como detectar las regiones del país para comenzar a implementar la sustitución o cambio de aparatos, junto con la propuesta de una nueva política energética que aplique al parque de refrigeradores y ayude a reducir los consumos energéticos en el sector residencial.

De acuerdo con estudios previos<sup>9</sup> los indicadores se pueden agrupar dentro del Modelo PER como complejos, socioeconómicos, ambientales o libres. Para el caso del consumo de energía del parque de refrigeradores domésticos, donde se esta planteando la adecuación de dicho modelo, los indicadores se concentrarán como “complejos”, ya que son los que más se relacionan al tema de investigación, debido a que se expresan normalmente en términos energéticos o monetarios. Para integrar los indicadores complejos resulta útil manejar medidas que sinteticen la información considerada en materia de desarrollo.

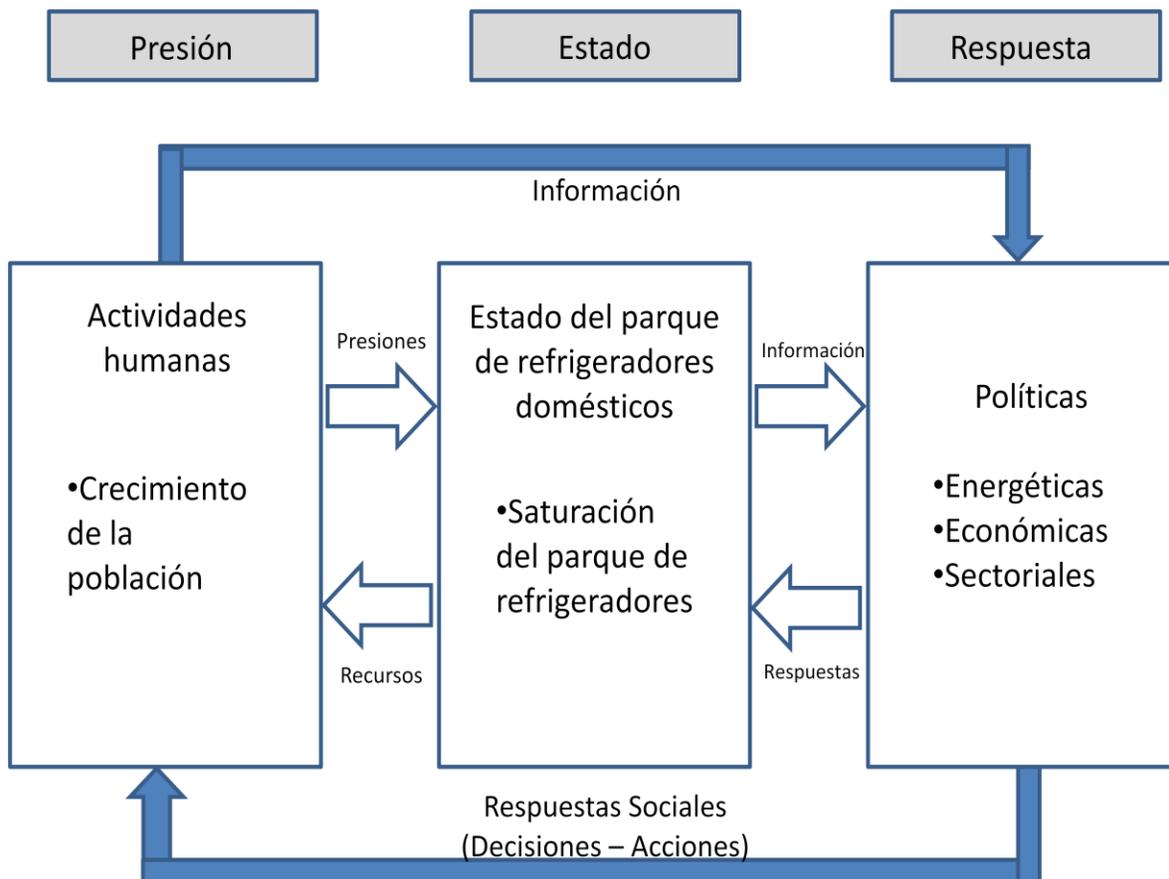


Figura 1.2. Ejemplo del modelo PER para refrigeradores domésticos  
Fuente: Elaboración propia con datos de OECD (2003)

<sup>9</sup> OCDE (2001). Key Environmental Indicators. Paris, France.

Los indicadores complejos que se ubicarán en la parte de “Presión” están relacionados con la tasa de crecimiento de la población urbana, el costo de la electricidad, el consumo final de energía, los costos de operación, las emisiones de gases, entre otros. Mientras que los indicadores complejos que componen el grupo de “Estado” representan en general la estructura y el estado actual del parque de refrigeradores domésticos a nivel nacional, su distribución por región, la temperatura de operación, la producción y ventas de nuevos refrigeradores, el número de habitantes por refrigerador, etc. Finalmente los indicadores complejos del conjunto “Respuesta” contemplan la elaboración de programas de recolección de refrigeradores de baja eficiencia, el complemento de la saturación del parque de refrigeradores domésticos por país y la disminución de los precios de los refrigeradores domésticos, por mencionar algunos.

Como se observa en la figura 1.2, la estructura de los indicadores por medio del Modelo PER, facilita los objetivos de la investigación, ya que éstos están vinculados directamente a grupos y de esta forma es posible utilizarlos para analizar las variaciones que se producen alterando sólo algunos componentes y manteniendo el resto sin cambio. Además de que los indicadores complejos facilitan la comprensión de las causas que afectan al consumo de energía y las posibles soluciones que pudieran existir. Antes de poder agrupar a dichos indicadores es necesario elaborarlos en los términos que se requieran, ya que la estructura del Modelo PER, requiere que la información aportada por cada indicador complejo este relacionada con los propósitos que se deseen implementar.

### **1.6. Elaboración de los Indicadores complejos**

El procedimiento más sencillo para elaborar a los indicadores complejos es primeramente seleccionar de un grupo de indicadores simples a los más representativos, después homologar sus escalas y unidades de medida; posteriormente definir cada una de las posibles interacciones que tengan entre ellos y finalmente combinarlos para que construyan el indicador complejo deseado.

Algunos de los indicadores simples empleados para la elaboración de los complejos se basan en la Norma NOM-015-ENER-2002<sup>10</sup>, esto porque las pruebas experimentales son instrumentos para validar partes donde no existe información documental. Como primer paso se efectuó un análisis de dicha Norma, separando las diferentes especificaciones contenidas y estableciendo previamente las variables operativas de las pruebas. Una vez realizado el análisis se agruparon los indicadores simples obtenidos en diferentes grupos, que servirán para integrar los complejos que se necesiten.

Otro grupo de indicadores simples con los que se cuenta están relacionados con la parte de estadística, que a su vez se sustenta en información de censos, anuarios, entre otros. La información obtenida se actualiza, si es el caso, ya sea por medio de métodos estadísticos o de nuevos datos, posteriormente se valida cotejándola con estudios similares, si es que hay. Los indicadores simples resultantes se ubican con

---

<sup>10</sup> Norma Oficial Mexicana (2002). *Op. Cit.*

base en su capacidad para dar respuestas a una serie de preguntas generadas por los indicadores complejos que se quieran integrar al sistema global en su conjunto.

En el Anexo I se muestra la colección de indicadores simples propuestos para el estudio, donde se encuentran agrupados de acuerdo al modelo PER. Cabe señalar que los valores de los indicadores simples son constantes en el período de tiempo establecido para el análisis. Éstos engloban una percepción implícita o explícita sobre la relación que existe entre el uso de los refrigeradores en el sector doméstico y los fenómenos socioeconómicos, institucionales, medio ambientales y técnicos que lo afectan directa e indirectamente, lo cual se verá reflejado en una reducción en el consumo de energía eléctrica a través de una nueva política energética viable. La lista de indicadores simples del Anexo I está conformada por 110 elementos, los cuales se dividen a su vez en indicadores de Presión, Estado y Respuesta y constituyen un núcleo básico del cuál se desprenderá el conjunto de indicadores complejos necesarios para la investigación.

Para efectuar la elaboración de los indicadores complejos adecuados se tomo en cuenta la experiencia de estudios previos<sup>11 y 12</sup> en donde se efectúa una interrelación de indicadores del tipo simple, con el fin de formar los complejos que contengan la mayor información posible. Al reproducir esa forma de interrelación de indicadores de dichos estudios, se pudo obtener un conjunto de indicadores complejos que aportan información relevante para la investigación, y se relacionan con las necesidades que les corresponden, teniendo la capacidad de responder a los aspectos que los afectan de forma directa o indirecta. El resultado del análisis y la interrelación de indicadores se presentan en la tabla 1.1.

**Tabla 1.1. Integración de los indicadores complejos**

Nomenclatura	Indicador	Definición	Unidad
IEC1	Consumo de energía	Cantidad de energía consumida por el parque de refrigeradores domésticos	kWh/año
IEC2	Costo de la energía	Costo de la energía eléctrica utilizada por el sector residencial por país	\$/kWh
IEC3	Ahorro de energía por cambio de refrigerador	Ahorros por el cambio de refrigerador de baja eficiencia por uno más eficiente	kWh/año
IEC4	Ahorro económico por energía ahorrada	Ahorros económico por el cambio de refrigerador de baja eficiencia por uno más	\$/kWh

<sup>11</sup> EUROSTAT, (2003). Calculation of indicators of environmental pressures caused by transport. Luxemburgo, Comunidades Europeas

<sup>12</sup> UNDESA (2001). Indicators of sustainable development guidelines and methodologies, 2nd edition, Septiembre. Nueva York. Departamento de asuntos económicos y sociales de las naciones unidas.

		eficiente	
IEC5	Costos por cambio de refrigerador	Costo por el cambio de un refrigerador usado por uno nuevo	\$/refrigerador
IEC6	Parque de Refrigeradores domésticos	Cantidad de refrigeradores domésticos eficientes por país	Refrigeradores/año
IAM1	Parque de Refrigeradores domésticos	Cantidad de refrigeradores domésticos eficientes por país	Refrigeradores/año
IAM2	Costos por cambio de refrigerador	Costo por el cambio de un refrigerador usado por uno nuevo	\$/refrigerador
IAM3	Cantidades de emisiones de gases generados	Cantidad de gases generados por país	Ton CO <sub>2</sub> equiv/año
IAM4	Cantidad de desechos sólidos generados	Cantidad de desechos sólidos generados por refrigerador doméstico por país	kg/año
ISO1	Población	Aumento en el número de habitantes en el país	Habitantes/año
ISO2	Viviendas	Número de viviendas sector residencial por país	Viviendas/año
ISO3	Parque de refrigeradores domésticos	Cantidad de refrigeradores domésticos eficientes por país	Refrigeradores/año
ISA1	Parque de refrigeradores domésticos	Cantidad de refrigeradores domésticos eficientes por país	Refrigeradores/año
ISA2	Población	Aumento en el número de habitantes en el país	Habitantes/año
ISA3	Fallecimientos por infecciones estomacales	Aumento en el número de personas que fallecen por infecciones estomacales por país	Muertes/año
ITE1	Parque de refrigeradores domésticos	Cantidad de refrigeradores domésticos eficientes por país	Refrigeradores/año
ITE2	Consumo de energía	Cantidad de energía consumida por el parque de refrigeradores domésticos	GWh/año

Fuente: Elaboración propia con información de EUROSTAT, (2003) y UNDESA (2001)

Hasta ahora se ha integrado un acumulado de indicadores complejos, los cuales serán ubicados en función de su aportación, como de Presión, Estado y Respuesta, aunque también pueden combinarse entre sí y tener nuevos elementos que interrelacionen

todos los involucrados. Con el análisis, agrupación y ubicación de los indicadores complejos, se tienen que homogenizar los sistemas de unidades, para ello se tendrá que realizar un reacondicionamiento dimensional entre indicadores complejos.

### 1.7. Análisis de unidades

Para agrupar a los indicadores complejos es preciso que cada uno utilice las mismas unidades de medición, además de que puedan sintetizar la información contenida en cada uno de ellos. El procedimiento más sencillo para establecer las unidades es primeramente seleccionar los indicadores más representativos y combinarlos entre sí, con el objetivo de tener un elemento en común<sup>13</sup>, posteriormente habrá que ajustarlos con los menos representativos para así obtener una sola escala y unidades de medida homogéneas. Esto con el propósito de definir las posibles interacciones que tengan las variables dentro de cada indicador complejo. A continuación se presenta el análisis de unidades realizado, junto con la combinación de los indicadores de la tabla 1.1 y el resultado de dichas interacciones (Tabla 1.2).

**Tabla 1.2. Unidades de los indicadores energéticos.**

Indicadores Complejos combinados	Unidad
$[IEC1][IEC2] = \left[ \frac{kWh}{año} \right] \left[ \frac{\$}{kwh} \right] = \left[ \frac{\$}{año} \right]$ $[IEC3][IEC4] = \left[ \frac{kWh}{año} \right] \left[ \frac{\$}{kwh} \right] = \left[ \frac{\$}{año} \right]$ $[IEC5][IEC6] = \left[ \frac{\$}{Refrigerador} \right] \left[ \frac{Refrigeradores}{año} \right] = \left[ \frac{\$}{año} \right]$	$\left[ \frac{\$}{año} \right]$
$[IAM1][IAM3] = [Refrigeradores] \left[ \frac{Ton CO_2 equiv}{año} \right]$ $= \left[ \frac{Ton CO_2 equiv}{año} \right]$ $[IAM1][IAM4] = [Refrigeradores] \left[ \frac{kg}{año} \right] = \left[ \frac{kg}{año} \right]$	$\left[ \frac{Ton CO_2 equiv}{año} \right]$
$\frac{[ISO1]}{[ISO3]} = \frac{\left[ \frac{habitantes}{año} \right]}{\left[ \frac{Refrigeradores}{año} \right]} = \left[ \frac{Habitantes}{Refrigeradores} \right]$	$\left[ \frac{Habitantes}{Refrigeradores} \right]$

<sup>13</sup> UNSD (2003). *Op. Cit.*

$\frac{[ISO2]}{[ISO3]} = \frac{\left[\frac{Viviendas}{año}\right]}{\left[\frac{Refrigeradores}{año}\right]} = \left[\frac{Viviendas}{Refrigeradores}\right]$	$\left[\frac{Viviendas}{Refrigeradores}\right]$
$\frac{[ISA3]}{[ISA2]} = \frac{\left[\frac{Muertes}{año}\right]}{\left[\frac{Habitantes}{año}\right]} = \left[\frac{Muertes}{Habitantes}\right]$	$\left[\frac{Muertes}{Habitantes}\right]$
$\frac{[ISA3]}{[ISA1]} = \frac{\left[\frac{Muertes}{año}\right]}{\left[\frac{Refrigeradores}{año}\right]} = \left[\frac{Muertes}{Refrigeradores}\right]$	
$[ITE1][ITE2] = [Refrigeradores] \left[\frac{GWh}{año}\right] = \left[\frac{GWh}{año}\right]$	$\left[\frac{GWh}{año}\right]$

Fuente: Elaboración propia con información de EUROSTAT, (2003) y UNDESA (2001)

El análisis de unidades mostrado en la tabla 1.2 se realizó con el fin de poder sumar cada uno de los aportes de los indicadores complejos de una forma consistente, ya que aun cuando éstos pertenezcan a un mismo grupo no siempre existe la consistencia en las unidades. En la consistencia dimensional se decidió utilizar unidades monetarias basándose en que más adelante se describirán grupos de categorías en donde el aspecto económico se encuentra involucrado, además de que los indicadores complejos se relacionan de forma directa o indirecta con los costos de la generación de energía, potenciales económicos de ahorro de energía, los costos por la adquisición o cambio de refrigeradores domésticos y los consumos de energía en función del precio de la electricidad.

Por otra parte, existen otros dos tipos de unidades que se pueden emplear, las toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> al año y toneladas de desechos generadas al año. Aunque esto causa un problema al momento de querer realizar un comparativo entre los indicadores; por ello será necesario hacer un ajuste en las unidades<sup>14</sup> involucrando los procesos relacionados con el consumo de energía, la generación de CO<sub>2</sub>, la sustitución de refrigeradores domésticos y la cantidad generada de desechos<sup>15</sup>, con el propósito de que todas las unidades sean las mismas. Además este grupo de indicadores complejos obtenidos está relacionado con las cantidades de emisiones de gases generadas por el uso o la sustitución de los refrigeradores domésticos, el parque

<sup>14</sup> TERM, (2004). Indicators tracking transport and environmental integration in the european unión. EEA Report No. 3/2004. Copenhague Dinamarca.

<sup>15</sup> Eurostat, (2000). Waste generated in Europe. Data 1985-1997. Luxemburgo. Eurostat.

actual de refrigeradores, las cantidades de desechos generadas de igual forma por el uso y cambio de equipos de refrigeración y los costos por los procesos involucrados.

También de la tabla 1.2 se observa que existen indicadores complejos vinculados con el aspecto social, por ello, se efectuó un estudio específico para definir las unidades con las cuales se pretende trabajar, esto básicamente a que en esta etapa de análisis existen una gran cantidad de indicadores de diferentes grupos que de alguna forma se involucran entre sí. Debido a esto, se maneja primeramente un grupo de indicadores complejos relacionados con la cantidad de habitantes del país y posteriormente por regiones; luego se completo este grupo con las viviendas y finalmente con el parque de refrigeradores domésticos en México. Con esta comparación de unidades se llegó a la conclusión de que emplear el número de viviendas al año aportaría más información para el desarrollo del indicador, ya que la mayor parte de los datos está relacionado con el aumento en el número de habitantes y viviendas en el país, la cantidad de las mismas que cuentan con servicio eléctrico y por ende con un equipo de refrigeración y el porcentaje de éstos que sean hayan adquirido en años recientes.

Además, existe el caso de indicadores complejos relacionados con la salud, pero que no representan en este momento una gran relevancia para el estudio, aunque es importante incluirlos, esto porque el Modelo PER, relaciona cada indicador relacionado con el tema. Las unidades están vinculadas con el número de refrigeradores domésticos que existen en el país, el aumento en la cantidad de población que requiera contar con un aparato y los fallecimientos relacionados por infecciones estomacales por consumir alimentos descompuestos; lo cual dio como resultado una unidad referida al número de refrigeradores al año por vivienda que servirá para poder interpretar más adelante el papel que juegan estos indicadores complejos en el estudio.

El consumo de energía del parque de refrigeradores domésticos; y la cantidad de éstos que lo integran, ya sea de alta eficiencia o de más de 10 años de antigüedad, también se ven reflejados en los indicadores complejos. Las unidades empleadas para éstos se expresan en términos energéticos como GWh al año consumidos o en su defecto cualquier otro múltiplo del mismo. En este análisis están involucrados, tanto el parque de refrigeradores domésticos como su consumo energético. Estos indicadores también son fundamentales para el estudio, ya que de ellos se desprende el potencial de ahorro de energía eléctrica por sustitución de refrigeradores domésticos de baja eficiencia; además de ser una herramienta fundamental en la integración de políticas energéticas relacionadas con el estudio. Este grupo de indicadores complejos seleccionados serán ubicados en base a su capacidad para dar respuestas a una serie de escenarios relacionados con los elementos que integran el sistema o bien en su conjunto.

Con la homogenización de las unidades de los indicadores compuestos, se puede efectuar la agrupación de éstos de acuerdo con su aporte, para que sean colocados como elementos de Presión, Estado o Respuesta, dentro del Modelo PER, aunque para esto es necesario considerar la elaboración de un conjunto de categorías que puedan describir a todos los elementos involucrados en la formulación de una nueva política energética relacionada con el uso eficiente de la energía del parque de refrigeradores

domésticos, para lo cual se tomo como referencia el marco conceptual empleado por la Comisión de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sustentable<sup>16</sup>. El cuál es un sistema de categorías que permite establecer una metodología para llevar a cabo un objetivo específico y se basa en un criterio de jerarquización piramidal en donde dichas categorías se ubican de acuerdo a ponderaciones que otorga el usuario de acuerdo a su experiencia y al análisis de los resultados que se lleguen a obtener.

En el sistema de la ONU se bosquejan tres categorías importantes para el desarrollo de los países, la económica, la social y la ambiental; pero para este caso se pretende ampliar la interrelación de cada uno de los grupos de indicadores complejos, para ello se propone agregar dos categorías más, una que involucre los aspectos experimentales a la cual se le llamara categoría tecnológica y otra donde se consideren los temas de salud. Además, cabe señalar que dadas las numerosas interrelaciones de los indicadores complejos, algunos de éstos pueden incluirse en dos o más categorías, así mismo, cada uno de ellos puede representar a un grupo de indicadores interconectados, necesarios para evaluar un punto en concreto.

### **1.8. Categorías para agrupar a los indicadores**

Los indicadores complejos se encuentran orientados a la toma de decisiones y a las respuestas derivadas de aquellas, más que a la descripción de la relación entre las presiones, estados y respuestas de la investigación, o el análisis a largo plazo de dicha relación. Es quizás por esta razón, que no exista una metodología única en materia de desarrollo de políticas gubernamentales (objetivos específicos), pues realmente ésta depende del concepto y modelización que se realice previamente. Las categorías son claves al momento de definir con claridad los objetivos que se desean cumplir, por ello los indicadores complejos tendrán que desempeñar las necesidades planteadas en un principio y así poder establecer una nueva política relacionada con los refrigeradores domésticos en México. Por lo que se requiere plantear las siguientes categorías:

- Ambiental
- Económica
- Social
- Salud
- Tecnológica

Con este grupo de categorías se pretende redondear los objetivos específicos del trabajo de investigación, para poder ofrecer resultados confiables y así como tener la posibilidad de extrapolar esta metodología de jerarquización a cualquier otra tecnología electrodoméstica u otro sector en la sociedad, lo cual es un valor agregado de la misma. Cada categoría engloba diferentes conceptos y definiciones, a continuación se

---

<sup>16</sup> UNDESA (2001). Indicators of sustainable development: Framework and Methodologies Background paper No.3 CSD9, UNDESA/DSD/2001/3, April 2001, New York. E.U.

presenta una breve descripción de cada una y la relación que existe con el grupo de indicadores complejos que habrá de integrarla.

### **1.8.1. Categoría Medio Ambiente**

Es el conjunto de los agentes físicos, químicos, biológicos con los factores sociales, susceptibles de causar un efecto directo o indirecto sobre los seres vivos y las actividades que realizan. Comúnmente se distingue, entre un medio natural o físico y un medio humano o socioeconómico. La categoría de medio ambiente estará constituida por un grupo de indicadores complejos en los cuales se consideran los diferentes factores que afectan de forma directa o indirecta al consumo de energía del parque de refrigeradores domésticos. Por ejemplo se cuantifican las toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente de los gases de efecto invernadero producidas por el sector residencial que dejaran de emitir al ambiente los refrigeradores viejos, si éstos se sustituyen por modelos nuevos, también se involucrará el manejo de desechos que pudieran generar los refrigeradores cuando dejan de funcionar, con una posible reutilización.

### **1.8.2. Categoría Económica**

La categoría económica estudia cómo los recursos se emplean para la satisfacción de las necesidades de los hombres que viven en sociedad; se interesa, por un lado, en las operaciones esenciales tales como la producción, la distribución y el consumo de los bienes y, por otro, en las instituciones y las actividades que tienen por objeto facilitar dichas operaciones. En esta categoría será contemplado el costo anual de la energía por concepto de refrigeración doméstica y la relación que existe con cada vivienda que cuente con este aparato, además de considerar los gastos generados por tratamientos de desechos sólidos que concibe una sustitución parcial del parque de refrigeradores domésticos. En esta categoría se aprecian las posibles opciones económicamente viables para poner en marcha un programa de recopilación de refrigeradores de baja eficiencia; así como vislumbrar los posibles ahorros económicos para los hogares.

### **1.8.3. Categoría Tecnológica**

Es el conjunto de trabajos realizados con habilidad e ingenio para obtener resultados ventajosos, es decir, para la resolución económica de un problema relacionado con la obtención y producción de algo útil. Los indicadores complejos de la categoría tecnológica involucrarán la relación que existe entre la eficiencia energética de los refrigeradores domésticos y su consumo de energía, además de los modelos que actualmente se encuentran disponibles. En esta categoría se harán pruebas de laboratorio para aproximar los consumos de energía de los modelos de refrigeradores más viejos, asimismo se efectuara un análisis de las normas oficiales vigentes de eficiencia energética para establecer el potencial de ahorro de energía comparando los equipos por antigüedad. Esta categoría tendrá relación con la ambiental y económica, ya que por medio de la parte experimental se logrará justificar técnicamente un programa de recopilación de aparatos de baja eficiencia y con ello beneficiar ambiental y económicamente a la sociedad involucrada.

#### 1.8.4. Categoría Social

Sociedad es la unión intencional, estable y estructurada, de seres humanos que buscan la consecución de un bien común. Los miembros de una sociedad ocupan en ella un lugar especial y propio en el que actúan con vistas a un fin común. Las funciones, que la sociedad está llamada a realizar para el bien de las personas, algunas son de caracteres científicos, ambientales, de salud, económicos, etc. La parte social de este estudio contendrá indicadores complejos relacionados con el crecimiento de la población, tanto urbana como rural y la necesidad de contar con los servicios básicos de una vivienda, entre los cuales está el refrigerador; el número de viviendas que cuentan con energía eléctrica, los costos generados por el uso de los refrigeradores, etc. De igual forma esta categoría se puede complementar con la ambiental, económica y de salud, ya que se está involucrado directamente el ahorro económico para cambiar un refrigerador y la cantidad de gases de efecto invernadero que se dejan de emitir al sacar de operación los equipos con más años de funcionamiento.

#### 1.8.5. Categoría Salud

Es el logro del más alto nivel de bienestar físico, mental, social y de capacidad de funcionamiento, que permitan los factores sociales en los que viven inmersos el ser humano. El propósito de alcanzar la salud, no solamente corresponde a la medicina sino también a los políticos, a la sociedad y al individuo. La categoría de Salud relaciona a través de los indicadores complejos el uso de los refrigeradores en la sociedad para preservar los alimentos, además de considerar la saturación del parque de refrigeradores domésticos en México la cual no está al 100% completada y por consecuencia esto generará problemas tanto en el sector salud como en la parte social, también toma en cuenta las condiciones climáticas a las que operan los equipos, junto con las regiones más representativas para efectuar las políticas energéticas anteriormente planteadas.

Las categorías se ubicaran en una pirámide de jerarquización móvil, para lo cual se estudiaron varios modelos que podrían adecuarse de buena manera<sup>17</sup> y así cubrir la mayor parte de las expectativas. En este arreglo tipo pirámide, se tiene que plantear de forma clara y precisa la política hacia donde va el estudio, la cuál se describirá más adelante.

En este apartado solo se presenta el marco conceptual de la estructura jerárquica y para efectos de ejemplificación en la figura 1.3 se muestra un posible arreglo de la pirámide, donde se observa que las categorías ambiental, social y tecnológica pueden estar ubicadas en la parte media de la pirámide, mientras que la categoría económica, pero pueden cambiar dependiendo del peso específico de ponderación que se les asigne.

---

<sup>17</sup> UNDESA (2001). *Op. Cit.*

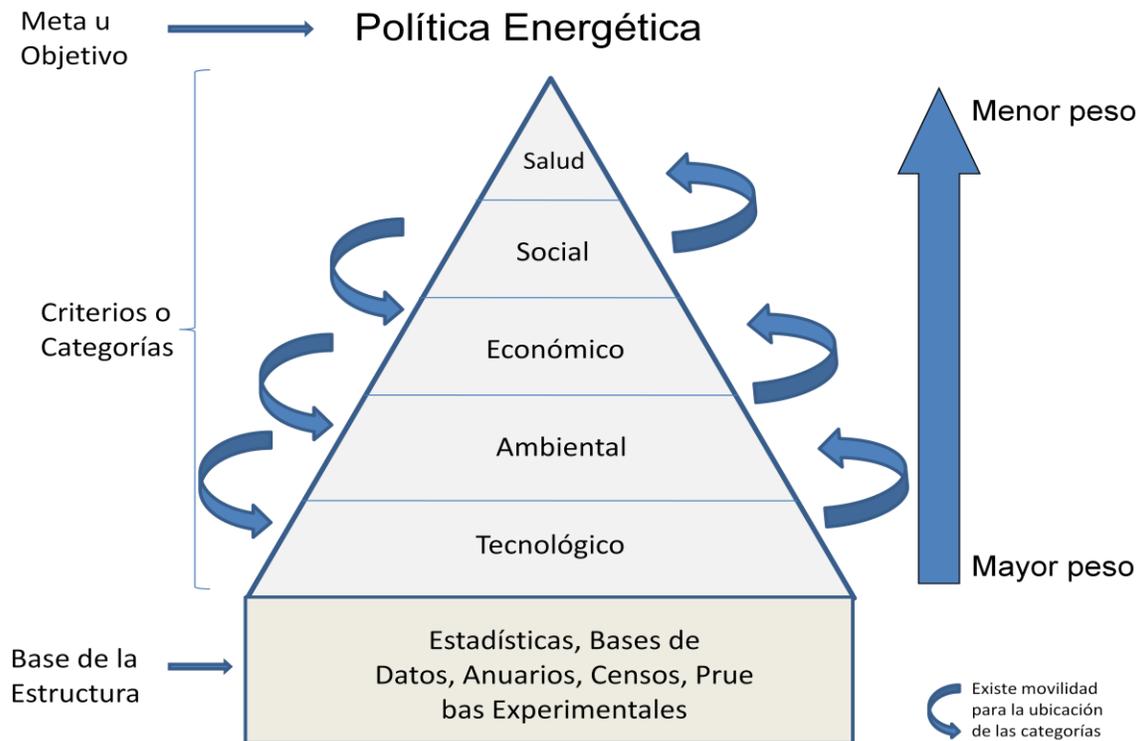


Figura 1.3. Jerarquización de categorías  
Fuente: Elaboración propia con información de UNDESA (2001)

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, lo que corresponde hacer en el Capítulo II es efectuar la propuesta de desarrollo de un nuevo conjunto de indicadores llamados “Macro” tomando como referencia a Cuellar (2007)<sup>18</sup>, en donde cada una de las categorías integra a éstos en función de su cualidad, y de acuerdo a los indicadores complejos, ya sean de Presión, Estado o Respuesta. Estos indicadores Macro expondrán todas las posibles interacciones y además definirán el grado de complejidad y de precisión que puede tener el análisis, desde un enfoque macro hasta un estudio más detallado, dando énfasis a la relevancia que tienen los indicadores complejos en relación con todas las categorías. Además se tendrán que elaborar las ecuaciones que describen los comportamientos de los indicadores macro para cada una de las categorías que componen la metodología de jerarquización.

18 Cuellar Pineda, Jorge. (2007). Guía básica para la elaboración de indicadores en el sector público. Dirección General de Evaluación y Comisariado. Gobierno del Distrito Federal.

## 1.9. Resumen

En este capítulo se establecieron las definiciones de los indicadores simples y complejos; los segundos se encuentran integrados por dos o más simples, y éstos a su vez están formados por elementos llamados variables, que se obtuvieron a través de datos estadísticos, encuestas, pruebas experimentales, aproximaciones matemáticas entre otros. También se encontró que los indicadores complejos se pueden utilizar en sistemas de Simulación, ya que son los más apropiados para el estudio, porque integran la información adecuada y se pueden extrapolar a otro tipo de tecnología electrodoméstica.

Por otra parte, se analizaron varias formas de organizar a grupos de indicadores, y se decidió que el modelo que más se adapta a la investigación es el llamado Presión-Estado-Respuesta (PER), que se basa en el concepto de causalidad, y toma como referencia que las actividades humanas ejercen Presiones sobre el medio ambiente y modifican la cualidad y calidad de los recursos naturales. La sociedad responde a estos cambios a través de Respuestas como políticas ambientales, macroeconómicas y sectoriales. Este modelo de organización de indicadores permitió hacer en primera instancia una analogía que servirá para desarrollar una metodología, en donde se integren todos los factores que afectan el consumo de energía eléctrica de los refrigeradores domésticos, con el fin de poder dar respuesta a los objetivos específicos del estudio.

También se elaboraron un conjunto de indicadores complejos que aportarán información relevante para la investigación, y están relacionados con todos los factores que afectan al estudio, ya que tienen la capacidad de responder a los aspectos que influyen directa o indirectamente. Para agrupar a estos indicadores complejos se desarrollo un análisis de unidades, para garantizar una homogeneidad y consistencia en las unidades de cada uno de ellos.

Los indicadores complejos que se generaron están orientados a la toma de decisiones y a las respuestas derivadas de ellas, esto porque dependen del concepto y modelización que se realice previamente. Por tal motivo, se planteo el uso de categorías que establece la ONU para desarrollar el concepto de sustentabilidad, con la salvedad de que se agregaron dos categorías más de las que se plantean en el arreglo. Este conjunto pueden definir con claridad los objetivos que se desean cumplir, además de que agrupan a los indicadores tomando como referencia el aporte que tienen con la investigación. Las categorías descritas se ubicaran en una pirámide de jerarquización móvil, la cuál esta enfocada hacia la política que se desea implementar y que se describirá más adelante.

## Capítulo II

### Desarrollo de Indicadores Macro y Agrupación por Categorías

#### 2.1. Introducción

La información contenida en esta sección pretende integrar a los indicadores complejos planteados anteriormente, en un indicador Macro. Esto básicamente por la relación que existe entre indicadores y el desarrollo energético del país, la cual se encuentra en función de las condiciones específicas de cada uno de los componentes. Para llevar a cabo la valoración de los indicadores Macro se tendrá que hacer una integración del conjunto de indicadores compuestos, por medio de vectores independientes<sup>19</sup> los cuales son instrumentos especializados y elaborados, que integran todos los factores que afecta de forma directa o indirecta al consumo de energía del parque de refrigeradores domésticos, y además pueden describir que elementos pueden definir las cualidades de cada categoría que integra la pirámide de jerarquización.

La presentación de los indicadores macro será en forma de ecuación que contemplará la suma de los indicadores complejos que la integren, por ello el énfasis en tener una consistencia de las unidades, ya que cada miembro de la ecuación tendrá su aporte y es independiente de los demás. Además, cabe señalar que para cada una de las categorías planteadas en la estructura de jerarquización se desarrollo su indicador Macro, tomando como referencia el arreglo de Presión, Estado y Respuesta, tal y como lo indica de Modelo PER; esto con el objetivo de garantizar que se contemplen todas las posibles interacciones entre los indicadores complejos.

Con la integración de los indicadores Macro por categoría, junto con la definición de los vectores independientes y el análisis dimensional de los indicadores complejos, se avala que la metodología de jerarquización contemple todo lo relacionado con el estudio; además al describir, integrar, y desarrollar los indicadores macro se puede generar una serie de expresiones algebraicas que logran hacer un estudio más fino de todos los factores que afectan al consumo de energía de los refrigeradores domésticos; y con ello ubicar un punto en donde se puedan comenzar a desarrollar acciones para acrecentar la eficiencia energética y precisar los posibles potenciales de ahorro.

Los objetivos de los indicadores macro van encaminados hacia varias directrices, como planes de acción y estrategias enfocadas a la eficiencia energética; por medio de programas o políticas gubernamentales. Además pueden proponer programas piloto con el objetivo de mejorar anualmente la eficiencia en el consumo energético residencial y más directamente hacia los refrigeradores.

---

<sup>19</sup> Robles Luna, Teresa. (2006). Elaboración de indicadores para proyectos ambientales. PROARCA/CAPAS

## 2.2. Descripción, integración y desarrollo de Indicadores Macro

En el modelo PER se establece que la interacción que existe entre el conjunto de indicadores complejos debe estar en relacionada con el concepto de causalidad (descrito anteriormente), lo que lleva a la investigación a proponer un grupo de indicadores Macro para cumplir con este propósito. Cada uno de éstos quedará formado por un conjunto de indicadores complejos con el mismo sistema de unidades. Para realizar esta parte de análisis se hicieron diversas combinaciones de indicadores complejos de acuerdo con estudios posteriores<sup>20</sup> dando como resultados una colección de indicadores Macro que contemplan el consumo de energía del parque de refrigeradores domésticos, la región que se quiera estudiar, la estación del año en que se usa los equipos de refrigeración, el costo de la energía que se consume, la eficiencia de los aparatos electrodomésticos, las emisiones de contaminantes que se generan por el uso y salida de operación, el tamaño que existe de los refrigeradores en los hogares, el número de viviendas que cuentan con equipos y las que no disponen tanto de refrigerador como de electricidad y la cantidad de defunciones vinculadas con el consumo de alimentos en descomposición.

La presentación de los indicadores macro será en forma de ecuación que contemplará la suma de los indicadores complejos que la integren, por ello el énfasis en tener una consistencia de las unidades, ya que cada miembro de la ecuación tendrá su aporte y es independiente de los demás. Más adelante se definirán y adicionarán factores de ponderación para cada uno de los componentes de la ecuación. Además, cabe señalar que para cada una de las categorías planteadas se desarrollo su indicador Macro, tomando como referencia el arreglo de Presión, Estado y Respuesta, tal y como lo indica de Modelo PER; esto con el objetivo de garantizar que se contemplen todas las posibles interacciones entre los indicadores complejos. A continuación se presenta una breve descripción de los indicadores macro por categoría y su ecuación propuesta para continuar con el estudio ya que será la base para los próximos planteamientos y desarrollos.

### 2.2.1. Indicadores Macro Categoría Económica

La categoría económica como se menciona integra un grupo de indicadores complejos relacionados con los costos y ahorros monetarios, por ello se llegó a la conclusión de que los indicadores macro que se deberían manejar tienen que englobar las particularidades que describe la ecuación  $I_{CAE}$ .

Primeramente se presenta el indicador macro que se denominó como Costo Anual de Energía (CAE), que integra los costos de la energía (identificado con \$/año) en el sector residencial, tanto a nivel macro como por región, hogar y hogar por región; el costo de la energía del parque de refrigeradores domésticos por país y por región, el costo del

---

<sup>20</sup> Ribeiro, María. Nobuyoshi, Carlos. (2006). Diagnóstico e avaliação dos serviços de limpeza urbana por indicadores e índices no estado de mato grosso do sul. Revista AIDIS de ingenierías y ciencias ambientales: Investigación, desarrollo y práctica. Vol 1, No.1

consumo de energía de los refrigeradores eficientes y de baja eficiencia, los costos tamaño de aparato y como estén distribuidos por región; así como los costos generados por la antigüedad de los equipos que se encuentren operando. En seguida se presenta la expresión matemática del indicador Macro CAE.

$$I_{CAE} = \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Sector Residencial} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Sector Residencial por Región} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Hogar} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Hogar por Región} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Parque de Refrigeradores} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Parque de Refriegradores por Región} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Refrigeradores de Baja Eficiencia} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Refrigeradores Baja Eficiencia por Región} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Refrigeradores por tamaño} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Refrigeradores por tamaño y región} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Refrigeradores por antigüedad} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Refrigeradores por antigüedad y por región} \right)$$

Fuente: Elaboración propia con información de Ribeiro, María. (2006)

Para la misma categoría económica también se obtuvo otro indicador macro que se nombró Ahorro Anual de Energía (AAE), conformado por información relacionada con el ahorro de energía (en términos de \$/año) en el sector residencial por país y por región, ahorro económicos en la vivienda a nivel macro y por región, el potencial de ahorro monetario del parque de refrigeradores, en función del país, la región y la eficiencia. Además de incorporar términos relacionados con el ahorro económico de energía por tamaño de refrigerador, antigüedad del mismo y si se propusiera el cambio de equipo ya sea por región o a nivel del país.

$$I_{AAE} = \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Sector Residencial} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Sector Residencial por Región} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Hogar} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Hogar por Región} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Parque de Refrigeradores} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Parque de Refriegradores por Región} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Refrigeradores de Baja Eficiencia} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Refrigeradores Baja Eficiencia por Región} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Refrigeradores por tamaño} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Refrigeradores por tamaño y región} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Refrigeradores por antigüedad} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Refrigeradores por antigüedad y por región} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Cambio de Refrigerador} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Cambio de Refrigerador por región} \right)$$

Fuente: Elaboración propia con información de Ribeiro, María. (2006)

Por último se elaboro un indicador Macro más para la categoría económica, en él se contemplan los escenarios posibles al sustituir el parque de refrigeradores, se le llamo Costos por Sustitución (CS); donde se respetar las mismas unidades que los anteriores indicadores y contempla todos los costos relacionados como el precio de los refrigeradores domésticos, como son el costo por el cambio de refrigerador, los gastos de transportación y tratamientos de desechos, la inversión destinada para realizar una efectiva recopilación de refrigeradores que salgan de funcionamiento, además de considerar el apoyo económico para la adquisición de equipos nuevos y la disminución de los precios para cierta parte de la población.

$$I_{CS} = \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Precio de los Refrigeradores} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Costo por el cambio de Refrigerador} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Gasto por Transportación de desechos} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Gasto por Tratamiento de desechos} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Recopilación de Refrigeradores} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Apoyo para adquisición de refrigeradores} \right) + \left( \frac{\$}{\text{año}} * \text{Disminución de precios de los refrigeradores} \right)$$

Fuente: Elaboración propia con información de Ribeiro, María. (2006)

### 2.2.2. Indicadores Macro Categoría Medio Ambiente

Para efectuar la interpretación de la información contenida en los indicadores macro que integran esta categoría, primeramente se tuvo que realizar una homologación en las unidades. Por ello se llevo a cabo una serie de análisis tomando como base metodologías ya establecidas con anterioridad<sup>21</sup>, para garantizar la consistencia de las unidades.

Este estudio dio como resultado la propuesta del primer indicador macro que se diseño como Toneladas Equivalentes de CO<sub>2</sub> (TEQ), donde se consideran las emisiones de gases, tanto de efecto invernadero como de CO<sub>2</sub> por concepto de refrigeración doméstica, los contaminantes del sector residencial y las emisiones evitadas por sustitución de refrigeradores domésticos de forma general o más específicamente por región.

$$I_{TEQ} = \left( \frac{\text{Ton CO}_2 \text{ equiv}}{\text{año}} * \text{Emisión de gases efecto invernadero por refrigeración} \right) + \left( \frac{\text{Ton CO}_2 \text{ equiv}}{\text{año}} * \text{Emisión de CO}_2 \text{ por refrigeración} \right) +$$

<sup>21</sup> Duran, Gema. (2006). Medir la sostenibilidad: Indicadores Económicos, Ecológicos y Sociales. Departamento de Estructura Económica y Economía del Desarrollo. Universidad Autónoma de Madrid

$$\left( \frac{\text{Ton CO}_2 \text{ equiv}}{\text{año}} * \text{Emisión de CO}_2 \text{ por habitante} \right) + \left( \frac{\text{Ton CO}_2 \text{ equiv}}{\text{año}} * \text{Emisión de contaminantes sector residencial} \right) + \left( \frac{\text{Ton CO}_2 \text{ equiv}}{\text{año}} * \text{Emisión de CO}_2 \text{ evitadas por sustitución de refrigeradores} \right) + \left( \frac{\text{Ton CO}_2 \text{ equiv}}{\text{año}} * \text{Emisión de CO}_2 \text{ evitadas por sustitución de refrigeradores por región} \right)$$

Fuente: Elaboración propia con información de Ribeiro, María. (2006)

Dentro de los indicadores macro que se pueden generar para esta categoría también se puede considerar la inclusión de los desechos, por ello se planteo el tener un indicador capaz de sustentar todo este apartado y agrupar a los elementos que se relacionan entre si, por lo cual se integro el indicador Macro de Desechos Sólidos Generados (DSG), que contempla la generación de desechos sólidos por la sustitución de los refrigeradores domésticos, tanto a nivel país como en las regiones que lo componen, la eliminación y tratamiento de los desechos sólidos generados, y de igual forma el reciclar la cantidad de desechos de una forma sustentable.

$$I_{DSG} = \left( \frac{\text{kg}}{\text{año}} * \text{Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores} \right) + \left( \frac{\text{kg}}{\text{año}} * \text{Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por región} \right) + \left( \frac{\text{kg}}{\text{año}} * \text{Eliminación de desechos sólidos por sustitución} \right) + \left( \frac{\text{kg}}{\text{año}} * \text{Eliminación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por región} \right) + \left( \frac{\text{kg}}{\text{año}} * \text{Desechos sólidos reciclados y usados} \right)$$

Fuente: Elaboración propia con información de Ribeiro, María. (2006)

La generación, manejo, deposición, transportación y usos finales de los desechos sólidos producidos por el parque de refrigeradores domésticos, ya sea por el cambio de éstos por modelos nuevos de mayor eficiencia; o por el final de su vida útil, es importante para la investigación, ya que el desarrollo e implemento de políticas energéticas a nivel gobierno estarán muy ligadas a este tipo de indicadores y tiene un gran impacto a nivel nacional, solo habrá que tener los mecanismos adecuados para poder llevarlas a cabo, lo cual se discutirá en los capítulos siguientes.

### 2.2.3. Indicadores Macro Categoría Social

Para el caso particular de la categoría social se pretende establecer un solo indicador Macro que cumpla con los objetivos de dicha categoría, esto se debe básicamente a la bondad del Modelo PER y la metodología de Cuellar<sup>22</sup>, para adaptarse a las

<sup>22</sup> Cuellar, (2007), *Op. Cit.*

condiciones que se presentan en este trabajo de investigación. Además, esta categoría tiene poco peso en la pirámide de jerarquización, sin embargo si las condiciones de definición de políticas cambian, la categoría puede tomar una importante relevancia en el modelo. El indicador macro establecido se le nombrará como Viviendas Sector Residencial (VSR), el cual considera de forma concreta el total de viviendas que cuentan con servicio eléctrico, a nivel país y en las regiones en que se encuentre delimitadas, también incluye el número de hogares con energía eléctrica pero sin un refrigerador, además del total de viviendas registradas con servicio eléctrico donde exista un equipo de refrigeración.

$$I_{VSR} = \left( \frac{\text{Viviendas}}{\text{año}} * \text{Total de viviendas} \right)_{\text{con servicio eléctrico}} + \left( \frac{\text{Viviendas}}{\text{año}} * \text{Total de viviendas} \right)_{\text{con servicio eléctrico por región}} + \left( \frac{\text{Viviendas}}{\text{año}} * \text{Total de viviendas} \right)_{\text{con servicio eléctrico sin refrigerador}} + \left( \frac{\text{Viviendas}}{\text{año}} * \text{Total de viviendas} \right)_{\text{con servicio eléctrico sin refrigerador por región}} + \left( \frac{\text{Viviendas}}{\text{año}} * \text{Total de viviendas} \right)_{\text{con servicio eléctrico con refrigerador por tamaño}}$$

Fuente: Elaboración propia con información de Ribeiro, María. (2006)

Otra particularidad de este indicador macro es el hecho de considerar los tamaños, ya que la homogeneidad del parque de refrigeradores domésticos es atípica y el consumo de energía está ligado directamente a esta característica. Por otra parte, es preciso señalar que la categoría social se encuentra muy relacionada con la de salud, por ello los indicadores macro que se generen en dicha categoría contendrán las mismas variables, pero al integrarlas no representarán las mismas cualidades, además de que están enfocadas a distintos objetivos.

#### 2.2.4. Indicadores Macro Categoría Salud

Para realizar la integración de los indicadores macros para esta categoría, primeramente se buscaron las variables que estén relacionadas directamente con la salud y el uso de los refrigeradores domésticos, dando como consecuencia la correlación que existe las defunciones ocasionadas por problemas estomacales por ingerir alimentos en descomposición. Por ello se tomo la decisión de estructurar un primer indicador que se nombró como Defunciones por infecciones estomacales (DIE) el cual contempla la relación que hay entre el total del parque de refrigeradores domésticos y el número de viviendas que no cuentan con un refrigerador, tanto a nivel país como por región del mismo.

El propósito del indicador en cuestión es identificar si realmente es de prioridad en este momento para el trabajo de investigación, ya que como se mencionará en los capítulos posteriores, se efectuarán una serie prospectivas relacionadas con las categorías planteadas para equiparar en donde hay prioridades para llevar a cabo programas gubernamentales vinculados al uso eficiente de la energía en los refrigeradores domésticos.

$$I_{DIE} = \left( \frac{\text{Muertes}}{\text{año}} * \text{Total del parque de Refrigeradores} \right) + \left( \frac{\text{Muertes}}{\text{año}} * \text{Hogares sin Refrigerador} \right) + \left( \frac{\text{Muertes}}{\text{año}} * \text{Hogares sin Refrigerador por región} \right)$$

Fuente: Elaboración propia con información de Ribeiro, María. (2006)

Otro indicador macro para la categoría de salud es el respectivo de los hogares, que se le conoce como Viviendas por Refrigerador (VR); y vislumbra la dependencia que tienen el total de viviendas que cuentan con un refrigerador y el complemento de la saturación del total del parque de refrigeradores en cada región y en su total.

$$I_{VR} = \left( \frac{\text{Refrigeradores}}{\text{año}} * \text{Total de viviendas por Refrigerador} \right) + \left( \frac{\text{Refrigeradores}}{\text{año}} * \text{Complemento en la saturación del parque de refrigeradores} \right) + \left( \frac{\text{Refrigeradores}}{\text{año}} * \text{Complemento en la saturación del parque de refrigeradores por región} \right)$$

Fuente: Elaboración propia con información de Ribeiro, María. (2006)

El interés de realizar esta interrelación de variables e indicadores simples se debe a que actualmente en México hay un déficit de refrigeradores por vivienda<sup>23</sup>, y esto como consecuencia se vincula directamente con el indicador macro DIE, y a su vez con los demás indicadores de las otras categorías. Aunque es importante señalar, que si bien, estos indicadores macro comparados con los demás, no tiene un peso específico grande dentro del estudio, no se puede dejar fuera, porque si así fuera, no se cumplirían los objetivos planteados al inicio y quedaría incompleto el trabajo de investigación.

### 2.2.5. Indicadores Macro Categoría Tecnológica

La categoría tecnológica de igual forma que la social, se puede integrar dentro de un solo indicador macro, que estará en función del consumo de energía de los refrigeradores domésticos. Dicho indicador se denominó como Consumo de Energía de los refrigeradores (CER), el cual engloba todo lo relacionado con el uso energético, ya sea el consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por región y país, lo que se gastan energéticamente hablando los equipos de baja eficiencia regionalmente y el total, los consumos energéticos vinculados con la antigüedad de los aparatos y la época del año en que se encuentren funcionando. Además está la relación entre el tamaño de los refrigeradores y la energía que disponen para trabajar en función de la estación o mes del año. De igual forma, existe la coyuntura entre el

23 Arroyo Cabañas, Aguillón Martínez, Ambriz García y Canizal Jiménez. (2009). "Electric energy saving potential by substitution of domestic refrigerators in Mexico", Energy Policy, Volume 37, Issue 11, November 2009

consumo de energía y el potencial de ahorro, que también está contemplado en el indicador macro, tanto a nivel país como por región de operación y mes del año.

Con la composición de estos indicadores macro en sus diferentes categorías se cumple una parte importante de la integración del Modelo PER al trabajo de investigación; ya que su contenido integra los indicadores simples homologados en las unidades y relacionados entre si, además de tener referidas a las variables más representativas de cada una de las categorías.

$$I_{CER} = \left( \frac{GWh}{año} * Consumo\ total\ de\ energía \right) + \left( \frac{GWh}{año} * Consumo\ total\ de\ energía\ por\ región \right) + \left( \frac{GWh}{año} * Consumo\ total\ de\ energía\ refrigeradores\ baja\ eficiencia \right) + \left( \frac{GWh}{año} * Consumo\ total\ de\ energía\ refrigeradores\ baja\ eficiencia\ por\ región \right) + \left( \frac{GWh}{año} * Consumo\ total\ de\ energía\ por\ antigüedad \right) + \left( \frac{GWh}{año} * Consumo\ total\ de\ energía\ por\ región\ y\ época\ del\ año \right) + \left( \frac{GWh}{año} * Consumo\ total\ de\ energía\ por\ región\ y\ tamaño \right) + \left( \frac{GWh}{año} * Consumo\ total\ de\ energía\ por\ región,\ tamaño\ y\ época\ del\ año \right) + \left( \frac{GWh}{año} * Consumo\ total\ de\ energía\ por\ región\ y\ antigüedad \right) + \left( \frac{GWh}{año} * Consumo\ total\ de\ energía\ por\ región,\ tamaño\ y\ antigüedad \right) + \left( \frac{GWh}{año} * Potencial\ de\ ahorro\ de\ energía\ por\ sustitución \right) + \left( \frac{GWh}{año} * Potencial\ de\ ahorro\ de\ energía\ por\ sustitución\ por\ región \right)$$

Fuente: Elaboración propia con información de Ribeiro, María. (2006)

Con el desarrollo general de los indicadores Macro para cada una de las categorías propuestas en el estudio, se puede tener un panorama amplio de su situación con respecto al estudio, ya que como se mencionó anteriormente no todos los indicadores complejos que los integran tienen participación en las categorías. Para saber cual es la contribución de los indicadores complejos dentro del indicador macro por categoría, se tiene que estructurar un conjunto de elementos que identifiquen la relación que existe entre ellos, los cuáles se nombraran como vectores independientes, y presentan la característica de que no tienen una interrelación entre ellos para definir una valoración general de cada una de las categorías planteadas en el modelo PER, pero de forma conjunta si pueden identificar la relación que existe entre el consumo de energía del parque de refrigeradores domésticos en el país y los factores que lo afectan.

### 2.3. Vectores Independientes

Los vectores independientes propuestos para la investigación se muestran en la tabla 2.1. Cabe señalar que en esta parte del trabajo de investigación se pretende combinar la precisión de los datos duros con la interpretación y proyección de los indicadores

complejos hacia las diferentes categorías en donde serán utilizados, lo que es fundamental para los próximos capítulos.

**Tabla 2.1. Vectores Independientes**

Nomenclatura	Vector
X <sub>0</sub>	Región
X <sub>1</sub>	Estación del año
X <sub>2</sub>	Costo de la energía
X <sub>3</sub>	Eficiencia
X <sub>4</sub>	Emisión de contaminantes
X <sub>5</sub>	Tamaño del refrigerador
X <sub>6</sub>	Viviendas
X <sub>7</sub>	Defunciones
X <sub>8</sub>	Consumo de energía

Fuente: Elaboración Propia con información de Robles (2006)

Los vectores independientes sitúan a los indicadores Macro en el contexto de cada circunstancia particular de su categoría, además de considerar por ejemplo la estructura económica, la evolución de las tecnologías, la contaminación ambiental y el desarrollo social del país en concreto. Además de que los vectores independientes aun cuando no tienen una interrelación entre ellos, pueden estar presentes en varias categorías debido a la liga efectuada en el Modelo PER. Después de haber definido y establecido los alcances de los vectores independientes, lo que corresponde ahora es identificar cuáles de éstos aportan la mayor información para cada una de las categorías.

El objetivo de los vectores independientes es identificar a todos los elementos que están relacionados con el consumo de energía del parque de refrigeradores domésticos en el país; ya sea en función de las regiones donde se ubican, los costos por la energía consumida, o la vinculación entre la eficiencia y tecnología implementada. Con esta información se puede hacer un estudio en donde el grado de complejidad es mayor; además de que permitirá más adelante identificar las áreas de oportunidad en donde se pueda comenzar a llevar a cabo la política energética relacionada con el uso eficiente de la energía de los refrigeradores. Cabe señalar que la estructura de los vectores independientes esta vinculada directamente con los indicadores compuestos que integrar a los Macro. Para efectuar la selección de los vectores independientes se llevó a cabo un estudio en donde éstos se ubicaron según su relación directa con la categoría en cuestión. Derivado del análisis se integro un conjunto de vectores los cuales se muestran a continuación (Tabla 2.2).

**Tabla 2.2. Selección de vectores independientes por categoría**

Categoría Económica	
Nomenclatura	Vectores Independientes

$X_0$	Región
$X_1$	Estación del año
$X_2$	Costo de la energía
$X_3$	Eficiencia
$X_5$	Tamaño del refrigerador

**Categoría Ambiental**

Nomenclatura	Vectores Independientes
$X_0$	Región
$X_1$	Estación del año
$X_2$	Costo de la energía
$X_4$	Emisión de contaminantes
$X_5$	Tamaño del refrigerador

**Categoría Social**

Nomenclatura	Vectores Independientes
$X_0$	Región
$X_2$	Costo de la energía
$X_5$	Tamaño del refrigerador
$X_6$	Viviendas

**Categoría Salud**

Nomenclatura	Vectores Independientes
$X_0$	Región
$X_2$	Costo de la energía
$X_5$	Tamaño del refrigerador
$X_7$	Defunciones

**Categoría Tecnológica**

Nomenclatura	Vectores Independientes
$X_0$	Región
$X_1$	Estación del año
$X_3$	Eficiencia
$X_5$	Tamaño del refrigerador
$X_8$	Consumo de energía

Fuente: Elaboración propia con información de Robles (2006) y Ribeiro (2006)

Como se observa en la tabla 2.2, cada categoría tiene al menos un vector independiente en común, lo que muestra que entre ellas hay relación aun cuando las estructuras dimensionales de cada una son diferentes. Esta observación es fundamental para continuar con el estudio, ya que más adelante se incorporarán los indicadores macro a cada categoría, junto con su vector independiente, para así poder

estructurar el modelo piramidal de la ONU<sup>24</sup>, y empezar a desarrollar la metodología del presente estudio.

En la categoría económica se puede ver que los vectores independientes son afines a los costos monetarios por el uso de refrigeradores domésticos, ya sea por la región del país en donde se efectuó el estudio, la estación del año, el gasto (monetario) de energía; o la eficiencia de los equipos y el tamaño que se disponga. Por ello es primordial identificar toda esta coyuntura de información y agruparla en función de su respectivo indicador macro. Por otra parte, en la categoría ambiental, los vectores contemplados son muy semejantes a los económicos, solo que en lugar de la eficiencia de los refrigeradores se tiene la emisión de contaminantes; además de involucrar, tanto a la emisión de gases efecto invernadero, como la generación de desechos sólidos por la sustitución de los aparatos; considerando de manera importante a todos los procesos que estén contemplados.

Las categorías social y de salud, también tienen en común los vectores independientes, región, costo de la energía y tamaño del refrigerador, pero aparte contemplan el vector número de viviendas y el total de defunciones respectivamente. Estas categorías junto con su colección de indicadores macro tienen una aportación pequeña al actual trabajo de investigación, pero de forma general enriquecen todo el estudio, por lo que no se puede prescindir de ellas; además al momento de efectuar alguna prospectiva se deben de considerar todas las aristas del modelo.

Por parte de la categoría tecnológica se tienen los vectores regionales, la estación del año a la que trabajan los refrigeradores, la eficiencia de los mismos, y la división del parque por tamaño junto con el consumo de energía. Así como de manera implícita los potenciales de ahorro de energía por sustitución del parque de refrigeradores domésticos, y los posibles escenarios relacionados a una serie de políticas energéticas vinculadas al uso eficiente de la energía eléctrica en el sector residencial.

Con la selección, estructura y agrupación de los vectores independientes para cada una de las categorías establecidas, y ya teniendo definidos a los indicadores macro, se puede integrar un conjunto de ecuaciones dependientes de éstos en cada categoría; las cuales tienen la finalidad de incluir todas las contribuciones económicas, energéticas, tecnológicas, sociales y de salud de los indicadores compuestos; y así poder jerarquizar a dichas categorías, con base en la propuesta de una nueva política energética relacionada a lo planteado en los objetivos del trabajo de investigación.

Para establecer las ecuaciones correspondientes se siguió la metodología establecida en la Agenda 21<sup>25</sup>, donde los indicadores compuestos de cada categoría deberán clasificarse o ubicarse según el esquema presión-estado-respuesta (PER); posteriormente se integraran en forma de suma algebraica para dar lugar al indicador

---

<sup>24</sup> UNSD (2003). *Op. Cit.*

<sup>25</sup> Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2004). Indicadores de desarrollo sustentable en México. INEGI

macro antes mencionado; el cual tendrá como referencia a los vectores independientes y finalmente se obtendrá una expresión matemática por cada categoría.

## 2.4. Elaboración de indicadores Macro por categoría

El objetivo de los indicadores Macro es agrupar todas las contribuciones del conjunto de indicadores complejos de acuerdo a lo establecido en el Modelo PER. Para ello se tiene que estar seguro de que cada contribución este en las mismas unidades, además de que tenga una relación directa con el propósito de cada indicador. Con la integración de todos los datos es posible saber que indicador macro tiene una mayor contribución para el estudio, además de identificar a los componentes de los indicadores complejos prioritarios.

La información obtenida de estos indicadores Macro es básica en esta parte del modelo, ya que con ella se puede ubicar un punto de partida para realizar una jerarquización de las categorías involucradas y más adelante comenzar la implementación de acciones. Para desarrollar los indicadores macro, se tiene que efectuar la integración de los indicadores complejos en cada una de las categorías; la información generada se presentará acompañada de una tabla en donde se muestre la situación y tipo de indicador, nomenclatura asignada y sistema de unidades para cada categoría<sup>26</sup>. Además se presenta una breve definición de los indicadores compuestos que forman parte de cada indicador macro. Para efectuar la agrupación de los indicadores complejos, se toma con base la metodología de Ribeiro (2006), en donde se integran las contribuciones, todas con las mismas unidades, ya que más adelante se agregará otro término más a la sumatoria con el propósito de poder ponderar las contribuciones de cada indicador complejo, según el periodo de estudio

### 2.4.1. Indicadores Macro categoría económica

En la categoría económica está involucrado el indicador macro “Costo Anual de Energía”, el cual mide el nivel de utilización de la energía en el ámbito económico y refleja las pautas del uso de la energía y la intensidad energética agregada del país. La energía es un factor esencial en el desarrollo económico y en el suministro de servicios vitales que mejoran la calidad de vida, por ello el objetivo de este indicador es identificar los factores que afectan al ritmo de desarrollo económico en relación con el consumo de energía por concepto de refrigeración, además de contemplar el posible aumento de la eficiencia energética vinculada con inversiones económicas, así como la transición hacia opciones de generación más limpias y a bajo costo. A continuación en la tabla 2.3 se muestra la información respectiva y su ecuación.

**Tabla 2.3. Integración de indicador macro Costo anual de Energía**

Indicador Macro	Situación	Indicador Compuesto	Nomenclatura	Unidades
-----------------	-----------	---------------------	--------------	----------

<sup>26</sup> INEGI (2004), *Op. Cit.*

Costo Anual de Energía (CAE)	Presión Estado	Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por región	CAEPR1	\$/año
	Presión Estado	Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por estación del año	CAEPR2	\$/año
	Presión Estado	Costo promedio de los refrigeradores por tamaño	CPR1	\$/año
	Presión Estado	Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por eficiencia	CAEPR3	\$/año
Ecuación	$I_{CAE} = (CAEPR1) + (CAEPR2) + (CPR1) + (CAEPR3)$			

Fuente: Elaboración propia con información de Ribeiro (2006)

El indicador macro “Costo por Sustitución” básicamente se encuentra relacionado con el concepto de ahorro monetario (Tabla 2.4), ya que considera los potenciales de ahorro económico de energía por sustitución de refrigeradores domésticos, aunque cabe señalar que no toma en cuenta ni la destrucción de los recursos naturales ni la degradación del medio ambiente; ya que esto se hará en los indicadores ambientales. Para este tipo de indicadores se utiliza un nuevo concepto de ahorro conocido como ahorro genuino, el cual mide la tasa real de ahorro de una economía; es decir, el ahorro genuino es el ahorro neto menos el valor de la destrucción de recursos y de la degradación del medio ambiente.

**Tabla 2.4. Integración de indicador macro Costo por Sustitución**

Indicador Macro	Situación	Indicador Compuesto	Nomenclatura	Unidades
Costo por Sustitución (CSE)	Respuesta	Potencial de ahorro económico por sustitución de refrigeradores por región	PAESR1	\$/año
	Respuesta	Potencial de ahorro económico por sustitución de refrigeradores por	PAESR2	\$/año

		estación del año		
	Respuesta	Costo promedio por el cambio de refrigerador por tamaño	CCR1	\$/año
Ecuación	$I_{CS} = (PAESR1) + (PAESR2) + (CCR1)$			

Fuente: Elaboración propia con información de Ribeiro (2006)

La integración de estos indicadores macro se basa en cuestiones como cuanto se puede ahorrar, los costos que se generan por el uso de refrigeradores domésticos en el país, o cuál es la tasa óptima de ahorro si las metodologías desarrolladas son adecuadas para valorar a los factores implicados y lo que resulte de la misma.

#### 2.4.2. Indicadores Macro categoría Ambiental

Por parte del indicador macro “Toneladas Equivalentes de CO<sub>2</sub>”, se consideran las emisiones totales y por unidad de un gas importante para el trabajo de investigación (el CO<sub>2</sub>), procedente del consumo de energía del parque de refrigeradores domésticos, el cual tiene un impacto directo sobre el cambio climático. Además se miden las toneladas de desechos sólidos generados por la sustitución de equipos de refrigeración con mayor tiempo de funcionamiento y se hace su equivalencia a energía utilizada para su disposición final. Por otra parte este indicador proporcionará una medida de la situación actual del país en relación a programas de sustitución de aparatos; así como las mediciones de forma indirecta de la exposición de la población a la contaminación, por generación de energía eléctrica para uso en refrigeración doméstica (Tabla 2.5).

**Tabla 2.5. Integración de indicador macro Toneladas Equivalentes de CO<sub>2</sub>**

Indicador Macro	Situación	Indicador Compuesto	Nomenclatura	Unidades
Toneladas equivalentes de CO <sub>2</sub> (TEQ)	Presión Estado	Emisiones de CO <sub>2</sub> por refrigeración doméstica por región	ECOR1	Ton de CO <sub>2</sub> equiv/año
	Presión Estado	Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por región	GDSSR1	Ton de CO <sub>2</sub> equiv/año
	Presión Estado	Emisiones de CO <sub>2</sub> por refrigeración doméstica por estación del año	ECOR2	Ton de CO <sub>2</sub> equiv/año

	Presión Estado	Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por estación del año	GDSSR2	Ton de CO <sub>2</sub> equiv/año
	Presión Estado	Emisiones de CO <sub>2</sub> por refrigeración doméstica por tamaño	ECOR3	Ton de CO <sub>2</sub> equiv/año
	Presión Estado	Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por tamaño	GDSSR3	Ton de CO <sub>2</sub> equiv/año
Ecuación	$I_{TEQ} = (ECOR1) + (GDSSR1) + (ECOR2) + (GDSSR2) + (ECOR3) + (GDSSR3)$			

Fuente: Elaboración propia con información de Ribeiro (2006)

Aunque menos conocido el término en los informes técnicos elaborado por Naciones Unidas<sup>27</sup> sobre conceptos y métodos de las estadísticas del medio ambiente. En esta investigación se planteó un indicador macro llamado “Emisiones y Desechos Evitados” como una ampliación de la información que se puede generar. Este indicador pretende ser un marco organizativo para presentar, sintetizar y agrupar los datos ambientales relacionados con los desechos hacia el medio ambiente y todo lo que se encuentre en esos medios, incluyendo los asentamientos humanos. El objetivo básico es identificar el potencial de emisiones de gases que se pueden evitar, si se efectúa una sustitución del parque de refrigeradores domésticos con mayor antigüedad en el mercado, además de considerar un programa de reciclaje de desechos sólidos concebidos por el cambio de aparato en el hogar, ya sea por región o por país. Por otra parte este indicador macro puede servir de punto de partida para proponer programas de ahorro de energía y medio ambiente, por medio de las dependencias gubernamentales, ya que engloba conceptos, definiciones y clasificaciones de las variables estadísticas que describen problemas específicos (Tabla 2.6).

**Tabla. 2.6. Integración de indicador macro Emisiones y Desechos Evitados**

Indicador Macro	Situación	Indicador Compuesto	Nomenclatura	Unidades
Emisiones y desechos evitados (EDE)	Respuesta	Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas por sustitución de refrigeradores	ECO1	Ton de CO <sub>2</sub> equiv/año

<sup>27</sup> UNSD (2003). *Op. Cit.*

		domésticos por región		
	Respuesta	Desechos sólidos reciclados por región	DSR1	Ton de CO <sub>2</sub> equiv/año
	Respuesta	Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas por sustitución de refrigeradores domésticos por estación del año	ECOE2	Ton de CO <sub>2</sub> equiv/año
	Respuesta	Desechos sólidos reciclados por estación del año	DSR2	Ton de CO <sub>2</sub> equiv/año
	Respuesta	Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas por sustitución de refrigeradores domésticos por tamaño	ECOE3	Ton de CO <sub>2</sub> equiv/año
	Respuesta	Desechos sólidos reciclados por tamaño	DSR3	Ton de CO <sub>2</sub> equiv/año
Ecuación	$I_{EDE} = (ECOE1) + (DSR1) + (ECOE2) + (DSR2) + (ECOE3) + (DSR3)$			

Fuente: Elaboración propia con información de Ribeiro (2006)

Estos indicadores macro constituyen una información relevante para el estudio, ya que con ellos se puede diseñar una estrategia combinada de reducción de CO<sub>2</sub> y de manejo de desechos sólidos, que será traducida en una directriz de desarrollo de políticas gubernamentales en beneficio del medio ambiente del país. Con este grupo de indicadores macro se pueden establecer valores de referencia para años futuros e identificar las emisiones de gases precursores. Para reducir las emisiones es importante apoyarse en modelos y registros de las reducciones de las emisiones, además de algunos estudios que vallan dirigidos a mejorar de la calidad medioambiental exigida en las legislaciones correspondientes.<sup>28</sup>

### 2.4.3. Indicadores Macro categoría Social

Para esta categoría se integró el indicador macro “Viviendas Sector Residencial”, el cual contempla los progresos en la parte de accesibilidad a los servicios de energía eléctrica, y al poder adquirir refrigeradores domésticos. Los servicios de energía en el sector residencial son decisivos para facilitar alimentos, vivienda, saneamientos, etc. La

<sup>28</sup> El medio Ambiente en Europa. (2005). Conjunto básico de indicadores, estado y perspectivas. Comisión Nacional Europea del Medio Ambiente.

falta de accesos a servicios modernos de energía contribuye a la pobreza y obstaculiza el desarrollo económico del país. Además, con respecto a la dimensión social, se han ido desarrollando indicadores compuestos, a partir de indicadores tales como la longevidad, la alfabetización y el nivel de vida. Para este caso se pretende efectuar la medición del desarrollo humano, en relación con el uso de los refrigeradores domésticos, entendiendo por éste un desarrollo de carácter multidimensional, donde los aspectos económicos, ambientales y social son importantes pero no suficientes, es decir, que se tiene que crecer económicamente, pero también seleccionar todos los tópicos que tengan una relación directa (Tabla 2.7).

**Tabla 2.7. Integración de indicador macro Viviendas Sector Residencial**

Indicador Macro	Situación	Indicador Compuesto	Nomenclatura	Unidades
Viviendas Sector Residencial (VSR)	Presión Estado	Total de viviendas con servicio eléctrico por región	TVSE1	Viviendas /año
	Presión Estado	Total de viviendas con electricidad sin refrigerador por región	TVESR1	Viviendas /año
	Presión Estado	Total de viviendas con servicio eléctrico con refrigerador por tamaño	TVSE2	Viviendas /año
Ecuación	$I_{VSR} = (TVSE1) + (TVESR1) + (TVSE2)$			

Fuente: Elaboración propia con información de Ribeiro (2006)

Por parte del indicador macro “Sustitución de Refrigeradores”, no solo contempla los problemas sociales del país relacionados con el uso de refrigeradores, sino también involucra los índices de desarrollo humano y el medio ambiente. Estos tres aspectos están a su vez vinculados mediante indicadores sociales tales como la tasa de analfabetismo, el porcentaje de viviendas que cuentan con electricidad en sus hogares, el porcentaje de personas sin agua potable y sin servicios de salud; y el número total de viviendas en México. Además este indicador medirá el ritmo de crecimiento al que debe de ir evolucionando la producción de refrigeradores domésticos y cuáles son los nichos importantes en donde aún faltan recursos, tanto de electricidad como hogares que no cuenten con un refrigerador doméstico (Tabla 2.8).

**Tabla 2.8. Integración de indicador macro Sustitución de refrigeradores**

Indicador Macro	Situación	Indicador Compuesto	Nomenclatura	Unidades
Sustitución de Refrigeradores	Respuesta	Aumento en la producción de	APR1	Viviendas /año

(SR)		refrigeradores por región		
	Respuesta	Refrigeradores destinados a apoyo directo a clases marginadas por región	RDAD1	Viviendas /año
Ecuación	$I_{SR} = (APR1) + (RDAD1)$			

Fuente: Elaboración propia con información de Ribeiro (2006)

La información obtenida de estos datos puede variar en función del periodo de tiempo en donde se efectúe un análisis. Aunque cabe señalar que existe el inconveniente de que parte de dicha información todavía no tienen un gran desarrollo y su cuota de aportación es bastante baja, pero no por ello se limita la posibilidad de usarla.

#### 2.4.4. Indicadores Macro categoría Salud

En la categoría de salud se constituyo el indicador macro “Defunciones por Infecciones Estomacales”, el cual mide la relación que existe entre las defunciones que se presentan por infecciones estomacales y la falta de un refrigerador en la vivienda. Además de mencionar que aun cuando este indicador no parece ser tan trascendental en el estudio, no se puede dejar de lado, ya que en un futuro puede existir la posibilidad de alguna situación que involucre la conservación de alimentos por periodos de tiempo bastante largo. Además de que el Modelo PER determina que para realizar un estudio teniendo como base su metodología, se deben de incluir todos los elementos que tengan relación, aun cuando esta sea mínima (Tabla 2.9).

**Tabla 2.9. Integración de indicador macro Defunciones por infecciones estomacales**

Indicador Macro	Situación	Indicador Compuesto	Nomenclatura	Unidades
Defunciones por infecciones estomacales (DIE)	Presión Estado	Defunciones por enfermedades estomacales por vivienda con refrigerador por región	DEEVR1	Def. por Refrigerador/año
	Presión Estado	Ventas de refrigeradores domésticos por región	VRD1	Refrigeradores/año
	Presión Estado	Ventas de refrigeradores domésticos por tamaño	VRDT1	Refrigeradores/año

Ecuación	$I_{DIE} = (DEEVR1) + (VRD1) + (VRDT1)$
----------	---

Fuente: Elaboración propia con información de Ribeiro (2006)

Otro indicador macro para la categoría salud es “Saturación del Parque de Refrigeradores”, que considera el complemento en el parque de refrigeradores domésticos, en relación al número de viviendas que no poseen refrigerador pero que si cuentan con el suministro de energía eléctrica para poder operarlo. Además contempla las ventas de los aparatos; para poder evaluar la posibilidad de completar el faltante de éstos en los hogares, tanto por país como por región que se pretende analizar (Tabla 2.10).

**Tabla 2.10. Integración de indicador macro Saturación del Parque de Refrigeradores**

Indicador Macro	Situación	Indicador Compuesto	Nomenclatura	Unidades
Saturación del Parque de Refrigeradores (SPR)	Respuesta	Ventas de refrigeradores domésticos por región	VRD1	Refrigerador/año
	Respuesta	Complemento en la saturación del parque de refrigeradores domésticos por vivienda por región	CSPRV1	Refrigerador/año
Ecuación	$I_{SPR} = (VRD1) + (CSPRV1)$			

Fuente: Elaboración propia con información de Ribeiro (2006)

En esta categoría, el uso de la energía apoya a la salud humana, además de promoverla, gracias a la mejora de las condiciones de vida. No obstante, la producción y uso de la energía conlleva la posibilidad de provocar daños o enfermedades, puesto que favorece a la contaminación y al aumento de las enfermedades, por ello el objetivo de reducir o eliminar esos impactos negativos. Cabe mencionar que entre los indicadores de salud más comunes<sup>29</sup> figuran los accidentes mortales ocasionados por la extracción, conversión, transmisión, distribución y uso de la energía, los cuales son altos. Sin embargo, para el estudio, el número de víctimas imputable a la utilización de energía en los hogares para electrodomésticos es bastante bajo, por lo que este indicador macro no tiene gran relevancia en el actual estudio.

<sup>29</sup> Agencia Internacional de la Energía (2008). Indicadores energéticos del desarrollo sostenible: Directrices y metodologías. EUROSAT.

### 2.4.5. Indicadores Macro categoría Tecnológica

El indicador macro generado es “Consumo de Energía de los Refrigeradores” el cual mide el consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos en el país, lo cual es importante debido a que se puede hacer la planeación de cómo realizar una disminución en dicho consumo sin afectar la calidad de vida de las personas. Además, actualmente el rápido crecimiento del sector residencial y la tendencia a utilizar la energía con una menor eficiencia energética, estimularon los cambios tecnológicos y por ende la estructura del consumo de energía final.

También el incremento de la población ha favorecido que aumente las necesidades de los habitantes de un país, como el tener aparatos electrodomésticos, y por consecuencia se ha contribuido al aumento el consumo de energía final. El tipo y alcance de las presiones de los indicadores que componen la categoría tecnológica se relacionan con la energía, y dependen de las fuentes de energía y de la forma y cantidad en que se utilizan. Una forma de reducir estas presiones que actúan sobre el parque de refrigeradores domésticos es utilizar menos energía. Esto puede lograrse reduciendo la demanda de actividades que necesitan energía, o utilizando la energía de modo más eficiente, o bien combinando ambas cosas (Tabla 2.11).

**Tabla 2.11. Integración de indicador macro Consumo de Energía de los Refrigeradores**

Indicador Macro	Situación	Indicador Compuesto	Nomenclatura	Unidades
Consumo de Energía de los Refrigeradores (CER)	Presión Estado	Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por región	CTEPR1	GWh/año
	Presión Estado	Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por estación del año	CTEPR2	GWh/año
	Presión Estado	Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por eficiencia	CTEPR3	GWh/año
	Presión Estado	Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por tamaño	CTEPR4	GWh/año

Ecuación	$I_{CER} = (CTEPR1) + (CTEPR2) + (CTEPR3) + (CTEPR4)$
----------	---

Fuente: Elaboración propia con información de Ribeiro (2006)

Como parte de la categoría tecnológica se encuentra el indicador macro “Potencial de Ahorro de Energía” el cual muestra el posible ahorro energético que existe con la sustitución de refrigeradores viejos, por modelos de mayor eficiencia. También considera una reevaluación de programas gubernamentales en base a su capacidad de respuesta a nivel de ahorro y uso eficiente de energía (Tabla 2.12). Por otra parte, toma en cuenta las notables diferencias en las pautas de consumo de energía final entre los refrigeradores antiguos y los nuevos, ya que éstos han registrado un descenso del consumo de energía final, debido en gran parte a la reestructuración tecnológica que han experimentado con el transcurso del tiempo, seguido de los cambios políticos con respecto a las normas oficiales de eficiencia energética. Con estos ahorros de energía, se han venido observando ligeros incrementos del consumo de energía final del total del parque de refrigeradores domésticos, lo cual es importante resaltar y seguir trabajando en ello para próximas investigaciones.

**Tabla 2.12. Integración de indicador macro Potencial de Ahorro de Energía**

Indicador Macro	Situación	Indicador Compuesto	Nomenclatura	Unidades
Potencial de Ahorro de Energía (PAE)	Respuesta	Potencial de ahorro de energía por sustitución del parque de refrigeradores domésticos por región	PAESPR1	GWh/año
	Respuesta	Consumo de energía de la saturación del parque de refrigeradores domésticos por región	CESPR1	GWh/año
	Respuesta	Potencial de ahorro de energía por sustitución del parque de refrigeradores domésticos por eficiencia	PAESPR2	GWh/año
	Respuesta	Potencial de ahorro de energía	PAESPR3	GWh/año

		por sustitución del parque de refrigeradores domésticos por tamaño		
	Respuesta	Potencial de ahorro de energía por sustitución del parque de refrigeradores domésticos por estación del año	PAESPR4	GWh/año
Ecuación	$I_{PAE} = (PAESPR1) + (CESPR1) + (PAESPR2) + (PAESPR3) + (PAESPR4)$			

Fuente: Elaboración propia con información de Ribeiro (2006)

El indicador “Potencial de Ahorro de Energía” podrá determinar en qué grado se desvincula el consumo energético del crecimiento económico; ya que se puede producir una disolución relativa cuando el consumo energético crece, pero en menor extensión que el Producto Interior Bruto; o también se llega a tener una relación absoluta cuando el consumo energético permanece estable o disminuye mientras el PIB crece. Sin embargo, desde un punto de vista del trabajo de investigación, el impacto dependerá de la cantidad total de energía que se consuma y en donde se utilice ésta (Tabla 2.12).

Los objetivos de los indicadores macro de la categoría tecnológica pueden ir encaminados hacia varias directrices, como planes de acción y estrategias comunitarias enfocadas a la eficiencia energética; por medio de programas de sustitución acelerada del parque de refrigeradores domésticos. Además de proponer programas piloto con el objetivo de mejorar anualmente la eficiencia en el consumo energético residencial y más directamente hacia los refrigeradores.

Teniendo ubicados a todos los indicadores macro en sus diferentes categorías se sientan las bases para el desarrollo de los siguientes capítulos. Lo que corresponderá más adelante es realizar el estudio de la situación actual del parque de refrigeradores domésticos; para ello se tomarán como base estudios previos, pruebas experimentales, estadísticas, censos, anuarios; y la elaboración de un programa de simulación, donde se podrán suponer escenarios futuros.

Con la integración de los indicadores Macro por categoría, junto con la definición de los vectores independientes y el análisis dimensional de los indicadores complejos, se garantiza que la metodología de jerarquización contemple todo lo relacionado con el estudio; además al describir, integrar, y desarrollar los indicadores macro se puede generar una serie de expresiones algebraicas que logran hacer un estudio más fino de todos los factores que afectan al consumo de energía de los refrigeradores domésticos;

y con ello ubicar un punto en donde se puedan comenzar a desarrollar acciones para acrecentar la eficiencia energética y precisar los posibles potenciales de ahorro.

Lo que corresponde en el Capítulo III es completar un conjunto de datos que describan el comportamiento de los indicadores complejos en función del tiempo, para que posteriormente puedan ser integrarlos en las ecuaciones que describen a los indicadores Macro. Además se presentara la parte experimental desarrollada, con el propósito de estimar el consumo de energía eléctrica del parque de refrigeradores domésticos. Además, la agrupación de los indicadores complejos en función del Modelo PER tendrá una relación directa con la estructura de jerarquización, de la cual se desprenderá una propuesta de nueva política energética, que esta vinculada con elementos de ponderación que tiene el propósito de poder efectuar la ubicación de las categorías de acuerdo con los elementos que la compongan y el periodo de tiempo que se quiera analizar.

## 2.5. Resumen

En este capítulo se desarrollaron una serie de indicadores macro para cada una de las categorías, los cuáles contemplan entre otras cosas, los consumos de energía del parque de refrigeradores domésticos, la región que se quiera estudiar, la estación del año en que se usa los equipos de refrigeración, el costo de la energía que se consume, la eficiencia de los aparatos electrodomésticos, las emisiones de contaminantes que se generan por el uso y salida de operación, el tamaño que existe de los refrigeradores en los hogares, el número de viviendas que cuentan con equipos y las que no disponen tanto de refrigerador como de electricidad y la cantidad de defunciones vinculadas con el consumo de alimentos en descomposición.

Con el desarrollo general de los indicadores macro, se estructuró un conjunto de elementos que identifican la relación que existe entre ellos, los cuáles se nombraron como vectores independientes, que tienen la característica de agrupar a los indicadores por tendencias, orientación y estructura del comportamiento por categoría, como por ejemplo la dependencia que existe entre el consumo de energía del parque de refrigeradores domésticos en el país y la región y temperatura de operación en donde se encuentren.

Para desarrollar los indicadores macro, se efectuó la integración de los indicadores complejos en cada una de las categorías; la información generada contiene la situación y tipo de indicador, su nomenclatura asignada y el sistema de unidades para cada categoría. Además se presentó una breve definición de los indicadores compuestos que forman parte de cada indicador macro. Para efectuar esta agrupación se utilizó una base metodológica que integra todas las contribuciones y tiene la capacidad de poder albergar posteriormente a elementos de ponderación que definirán las cualidades de cada uno de los indicadores macro.

Con la integración de los indicadores macro por categoría, se garantiza que la metodología de jerarquización contemple todo lo relacionado con el estudio; con lo cual se generarán más adelante una serie de expresiones algebraicas que logran hacer un estudio más fino de todos los factores que afectan al consumo de energía de los refrigeradores domésticos; y así poder ubicar un punto en donde se puedan comenzar a desarrollar acciones para acrecentar la eficiencia energética y precisar los posibles potenciales de ahorro.

## Capítulo III

### Parque de Refrigeradores Domésticos en México y Escenarios Base

#### 3.1. Introducción

Los costos y consumos energéticos que se encuentra ligados al parque de refrigeradores domésticos en México son significativos para el estudio, y muchas veces no se toma en cuenta por la falta de información, o por el poco interés que existe hacia este electrodoméstico tan importante dentro de las viviendas. La evaluación de éstos servirá para tener ubicadas las regiones o lugares dentro del país, en donde se pueda realizar una serie de propuestas sobre la sustitución del parque de refrigeradores domésticos actuales por refrigeradores más eficientes; con la finalidad de reducir los gastos monetarios y energéticos en el sector residencial.

Por otra parte, el aspecto ambiental también esta combinado con el uso de los refrigeradores, ya que de acuerdo a los datos del censo de población y vivienda<sup>30</sup>, se estima que en el año 2009 el parque de refrigeradores domésticos fue de poco más de 26 millones, lo que representa en relación a su consumo de energía casi 5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente emitidas. Derivado de esto, es el interés de saber cuáles son los factores que propician esos niveles de contaminación, en base a la información obtenida a través de los indicadores y así poder proponer algunas alternativas que ayuden a reducirlos.

De igual forma, las condiciones de las viviendas es otro elemento importante que integra la situación actual del parque de refrigeradores domésticos, ya que las causas principales del consumo de energía son la variación en el voltaje de operación, las temperaturas ambiente de los hogares, la carga térmica que este ubicada dentro del refrigerador, el tiempo de uso, la humedad y el hecho de que la vivienda cuente con un aparato. Todo esto englobado, provoca un mayor consumo de energía eléctrica, lo cual se refleja en los precios que cada usuario tendrá que pagar por utilizar el refrigerador.

El concepto de salud vinculado con el uso y la adquisición de un refrigerador también debe estar representado en el estudio, tanto en función de su distribución por estados, como en la producción y ventas de nuevos aparatos, además de agregar la sustitución de los equipos viejos, por nuevos de mayor eficiencia energética; esto debido al concepto de defunciones por la ingesta de alimentos descompuestos, que está contemplado en los indicadores que integran la categoría salud. Además de consideran el cambio en las normas oficiales que rigen su operación, en base a las nuevas tecnologías desarrolladas.

Para la parte de tecnología y consumo energético relacionado con los refrigeradores domésticos, se pretende comparar los comportamientos de un conjunto de aparatos

---

<sup>30</sup> Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2005). Censo de población y vivienda en México. INEGI.

que se someterán a una serie de pruebas dentro del laboratorio<sup>31</sup>, esto con el propósito de estimar el consumo de energía del parque de refrigeradores domésticos, en función de la eficiencia que presenta, el tamaño que se tiene y la región que se pretenda analizar, además de poder ubicar a las variables más representativas que sirvan para aproximar un cierto potencial de ahorro energético por el cambio de aparatos, ya sea de baja eficiencia o por un tamaño afín a las necesidades de los hogares.

Por lo anterior, en el presente capítulo se hará una descripción de la situación del “Estado” de los refrigeradores domésticos en México, junto con la representación de los elementos que integran cada una de las categorías descritas en el capítulo I, en base a las tendencias en ventas, producción, distribución y consumo de energía, evolución de la vivienda, costos generados por el uso de electricidad en el sector residencial, estimaciones de emisiones de gases, etc. Con ello se pretenden establecer más adelante las bases para desarrollar un conjunto de políticas energéticas en relación a los indicadores macro que son ejes principales de este trabajo de investigación.

### 3.2. Parque de refrigeradores domésticos a nivel nacional

El estudio del parque de refrigeradores permite aproximar el número de aparatos que existen en cada estado de la república mexicana y a nivel nacional, además de poder estimar el consumo de energía eléctrica que éste representa. Dentro del conjunto que compone el total de refrigeradores existe un elemento importante a considerar; la antigüedad, ya que actualmente consumen más energía los mayores de 10 años, y representa un nicho de oportunidad de ahorro, ya sea energético o monetario, a través de una forma sencilla de implementación de programas enfocados al uso eficiente de energía.

Para determinar el número aproximado de refrigeradores existentes en los hogares de cada uno de los estados del país, se obtuvieron datos de los censos de población y vivienda, así como de los conteos de población y vivienda<sup>32</sup>. Posteriormente se integró la información de los refrigeradores comercializados entre los años 2000 y 2008<sup>33</sup>; y se descontó el número de aparatos que salieron de funcionamiento<sup>34</sup>. El total de refrigeradores domésticos ha pasado de ser de aproximadamente 15 millones en el año 2000 a poco más de 24 millones en el 2008, esto se debe a que la tasa de sustitución de refrigeradores es de 1.7% anual, equivalente a cerca de 400 mil refrigeradores que salen de uso, mientras que las ventas promedio para ese intervalo de tiempo son de más de 1 millón 600 mil equipos, por lo que dentro del parque de refrigeradores existentes hay bastantes de baja eficiencia energética. Además, el incremento en el

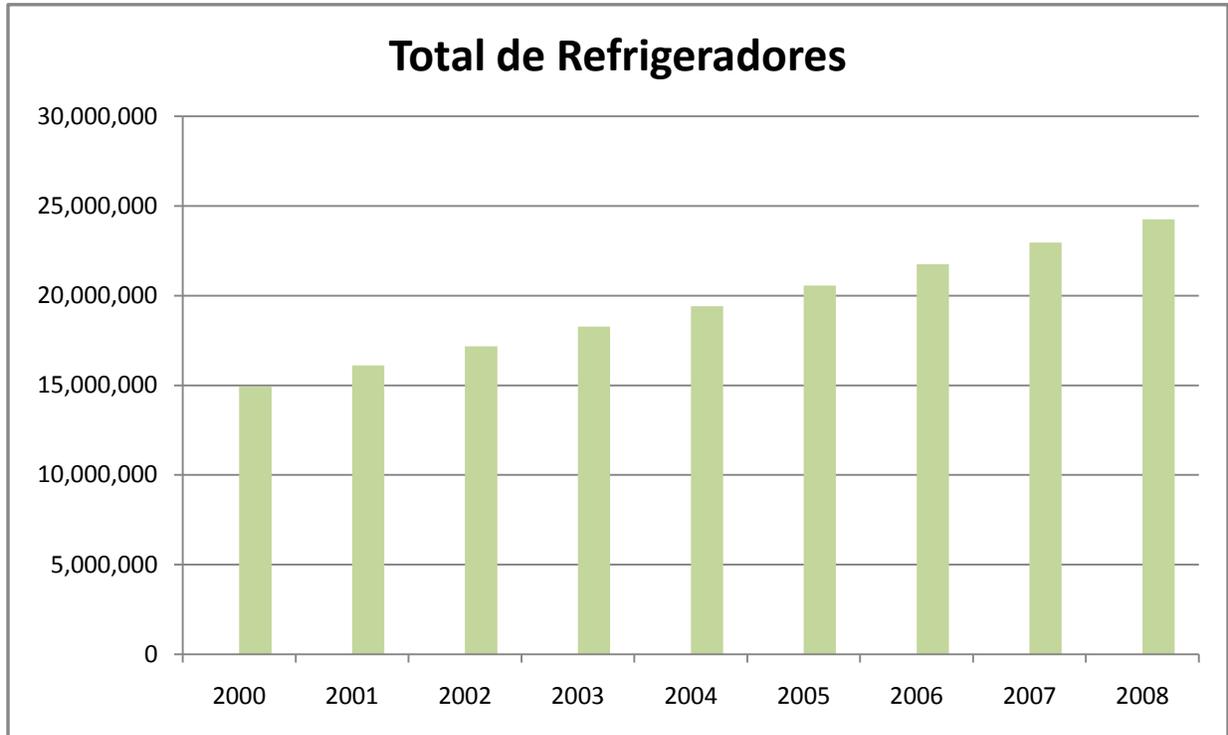
<sup>31</sup> Arroyo, F, Aguillón, J y Ambriz, J (2005). Evaluación experimental del consumo de energía eléctrica de refrigeradores domésticos en México. XI Congreso internacional anual de la SOMIM - IV Congreso Bolivariano de la SOBIM. Morelia Michoacán. Agosto 2005.

<sup>32</sup> Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. INEGI. (1990 y 2000). Censo de Población y Vivienda y Conteo de Población de Vivienda. (1995 y 2005).

<sup>33</sup> ANFAD (2000-2008). Anuarios estadísticos de ventas y producción de aparatos electrodomésticos.

<sup>34</sup> FIDE-Banco Mundial (2008). Evaluación ambiental del programa de sustitución de refrigeradores y aires acondicionados domésticos para el ahorro de energía eléctrica.

número de refrigeradores está vinculado directamente con el aumento de las viviendas en México; que ha ido evolucionando a un ritmo promedio de 9% anual para el mismo periodo analizado (Gráfica 3.1).



**Gráfica 3.1. Evolución del parque de refrigeradores domésticos**

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, ANFAD y FIDE-Banco Mundial

Si se analiza el ritmo de crecimiento del parque de refrigeradores domésticos en relación a la producción y ventas de éstos, y si se quisiera prever un horizonte para realizar una sustitución acelerada de los refrigeradores domésticos de baja eficiencia, se tendría que llevar a cabo un programa integrar en un periodo de tiempo de casi 10 años<sup>35</sup>. Más adelante este tipo de alternativas se detallarán con mayor precisión tomando en consideración la información proporcionada por los indicadores macro generados.

Lo que corresponde ahora es efectuar la división de cada uno de los indicadores complejos en función de los elementos que los integran. Para ello se realizaron una serie de estudios que involucraron, desde análisis económicos de precios de electricidad por región del país, hasta pruebas experimentales, junto con aproximaciones matemáticas para extrapolar información con la que no se contaba. Además se emplearon distintas metodologías para cuantificar las emisiones de gases por el uso de los refrigeradores domésticos y el manejo de los desechos sólidos

<sup>35</sup> Arroyo (2009). *Op. Cit.*

generados por el cambio de aparatos; así como el análisis de la relación entre la evolución de la población y el uso de refrigeradores en las viviendas. Conjuntamente el parque de refrigeradores domésticos será dividido y agrupado en función de la región a la que pertenezcan, tomando como base la distribución de estados que realiza la SEMARNAT<sup>36</sup>; lo cual facilitara el estudio de las regiones y se tiene una mejor forma de interpretar los resultados (Tabla 3.1).

**Tabla 3.1. División por regiones de los estados del país**

Región	Estado
Noreste	Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas y Durango
Noroeste	Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa
Centro- Occidente	Colima, Jalisco, Nayarit, Querétaro, San Luis Potosí, Guanajuato, Aguascalientes, Zacatecas y Michoacán
Centro	Tlaxcala, Estado de México, Distrito Federal, Hidalgo, Morelos y Puebla
Sur- Sureste	Veracruz, Guerrero, Oaxaca, Tabasco, Chiapas, Campeche, Yucatán y Quintana Roo

Fuente: Elaboración propia con datos de SEMARNAT (2008)

Con esta agrupación de los estados se establece una de las bases para el desarrollo del nuevo modelo, ya que se podrían involucran de forma directa a los organismos gubernamentales y las autoridades locales para la creación y consolidación de nuevas políticas energéticas que permitan una participación social cada vez más amplia y responsable. En este momento atañe la descripción de la forma en cómo se integrará toda la información recabada y que se pueda tener ubicada en lugares estratégicos del estudio.

<sup>36</sup> Consejos consultivos para el desarrollo sustentable. (2008). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. SEMARNAT.

### 3.3. Escenarios Base

Para hacer un estudio del comportamiento del parque de refrigeradores domésticos dentro del contexto económico, ambiental, social, tecnológico y de salud, se necesita ubicar la información relacionada a través del tiempo. Por ello es preciso tener un conjunto de datos para cada una de las categorías en que se encuentren agrupados para periodos de tiempo definidos<sup>37</sup>. Este razonamiento da lugar a un grupo especial de datos que se conocerán como escenarios base. Este tipo de escenarios conjuga información de todo tipo, desde datos estadísticos hasta resultados experimentales y aproximaciones matemáticas de tipo regresiones en el tiempo; y sirven para tener la facilidad de interpretar los comportamientos de los refrigeradores cada año.

También este análisis se aprovecha para elaborar escenarios de prospección, y para el presente estudio son la base de la metodología que se propondrá, debido a que se puede emplear para elaborar una nueva política relacionada con los refrigeradores domésticos y su consumo de energía. Las proyecciones de los escenarios base estarán afectadas por la demanda de energía; y basadas en su comportamiento pasado y en congruencia con las expectativas del desempeño de las variables económicas, tecnológicas, de salud, ambientales y sociales en los próximos años.

Este panorama implica el interés de tener información que responda a las necesidades del trabajo de investigación y que además permita garantizar el logro de indicadores macro confiables en el mediano y largo plazo. Esto con el objetivo de dimensionar las necesidades de energía del sector residencial en los próximos años, aunque cabe señalar que estas proyecciones no asumen cambios que pudiesen darse en las políticas de energía actuales del país y tampoco pueden alterar las tendencias históricas. Las líneas de acción de los escenarios base darán un panorama general de hacia dónde deben dirigirse las políticas del país en materia energética. Esto implica una responsabilidad no sólo de las instituciones gubernamentales, sino de todos los sectores de la sociedad. En este sentido, la consolidación de la Política Energética debe verse como un proceso dinámico en el cual la participación de los diferentes actores es una condición esencial para su éxito a largo plazo. A continuación se presenta la forma en que se integro la información de los escenarios base para cada categoría involucrada en el estudio.

### 3.4. Escenario base categoría Económica

Para desarrollar los escenarios base de la esta categoría, se integró un conjunto de indicadores complejos relacionados con los costos y ahorros monetarios, en base a las definiciones de sus indicadores macro. Primeramente los costos de la energía en el sector residencial, tanto a nivel país como por región y posteriormente la energía usada por el parque de refrigeradores domésticos, ya sea los eficientes o de baja eficiencia. Por otra parte, para conjuntar la información de esta categoría se consultaron aspectos

---

<sup>37</sup> <http://www.dirinfo.unsl.edu.ar/~aamd/Teorias/teo1md4.pdf>.

referentes al marco legal y legislativo del sector residencial en el país<sup>38</sup>; además de revisar políticas pertinentes y documentos gubernamentales, incluyendo legislaciones y leyes a nivel nacional y regional<sup>39</sup>, también se realizaron análisis de las diferentes tarifas eléctricas en México<sup>40</sup>, junto con los precios medios de los refrigeradores domésticos<sup>41</sup> por tamaño y por región del país.

El enfoque desarrollado para este sector incluye todo lo relacionado a costos de la energía, específicamente el sector residencial, aunque también están contenidos de forma implícita factores como región, eficiencia energética o condiciones ambientales de operación. Además se complementa la información con fuentes secundarias, que es revisar datos regionales y nacionales para obtener información sobre el tema. En seguida se presentan cada uno de los indicadores complejos, junto con una breve reseña de su comportamiento en un periodo de tiempo específico.

### **3.4.1. Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por región**

Este indicador relaciona los costos por el consumo de energía, primeramente por región del país; Se observa en la gráfica 3.2 que la región Centro presenta los mayores costos de energía por el uso de los refrigeradores domésticos, debido a que se encuentran la mayor cantidad de unidades. Además los costos de ésta son poco más de tres veces mayores que los de la región Noroeste o Noreste.

Los comportamientos de las 5 regiones se observa que son directamente proporcionales al aumento en los refrigeradores domésticos, y la región Centro-Occidente presenta casi los mismos costos que las regiones Noroeste, Noreste y Sur-Sureste juntas. Por otra parte en la región Sur-Sureste se observa que después del año 2002 los costos por refrigeración se han mantenido bastante estables, lo cual se puede deber a que la economía en esa zona del país no ha crecido de una forma importante comparada con las demás regiones. En la región Noroeste se observa que los costos se han incrementado a un nivel que ya es bastante semejante que en la región Sur-Sureste, esto significa que dicha región tiene un mejor crecimiento económico, y se esperarían que en los próximos años siga desarrollándose más.

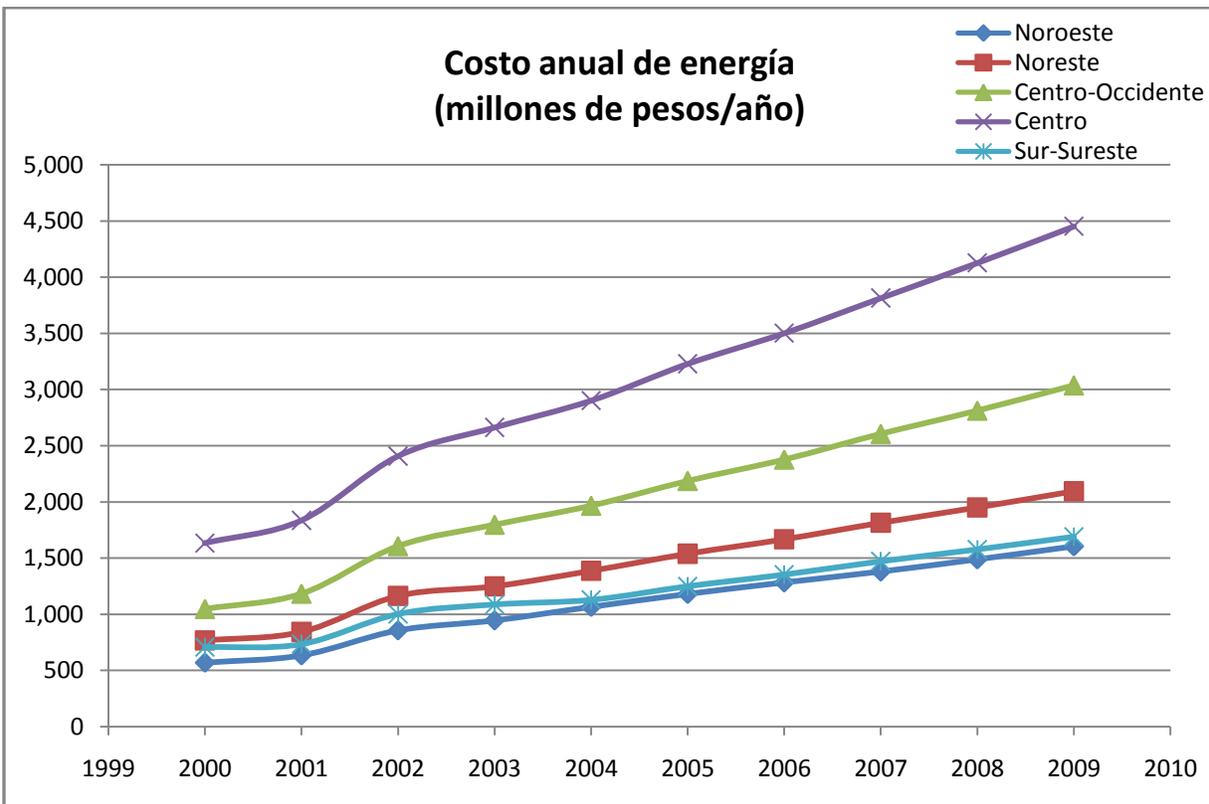
Por otra parte, la tasa de crecimiento relacionada a los gastos eléctricos de la región Centro está entre 10 y 15 % anual, mientras que las demás regiones presentan variaciones entre 5 y 8%, lo cual era de esperarse, debido al ritmo de crecimiento de la población y de la vivienda en dicha región. También, cabe señalar que aun cuando en la región Sur-Sureste, existe un mayor número de hogares, sus consumos de energía son inferiores a los de la región Noreste, debido principalmente a las variaciones en los poderes adquisitivos de la población y al retraso económico que hay en varios estados de la república.

<sup>38</sup> Perspectivas de la OCDE. (2010). México políticas claves para un desarrollo sostenible. OCDE.

<sup>39</sup> Plan Nacional de Desarrollo. (2007-2012). Estados Unidos Mexicanos. Secretaría de Gobernación.

<sup>40</sup> CFE y LyFC. (2000-2008). Tarifas eléctricas y anuarios estadísticos de 2000 a 2008.

<sup>41</sup> ANFAD. (2000-2008). *Op. Cit.*



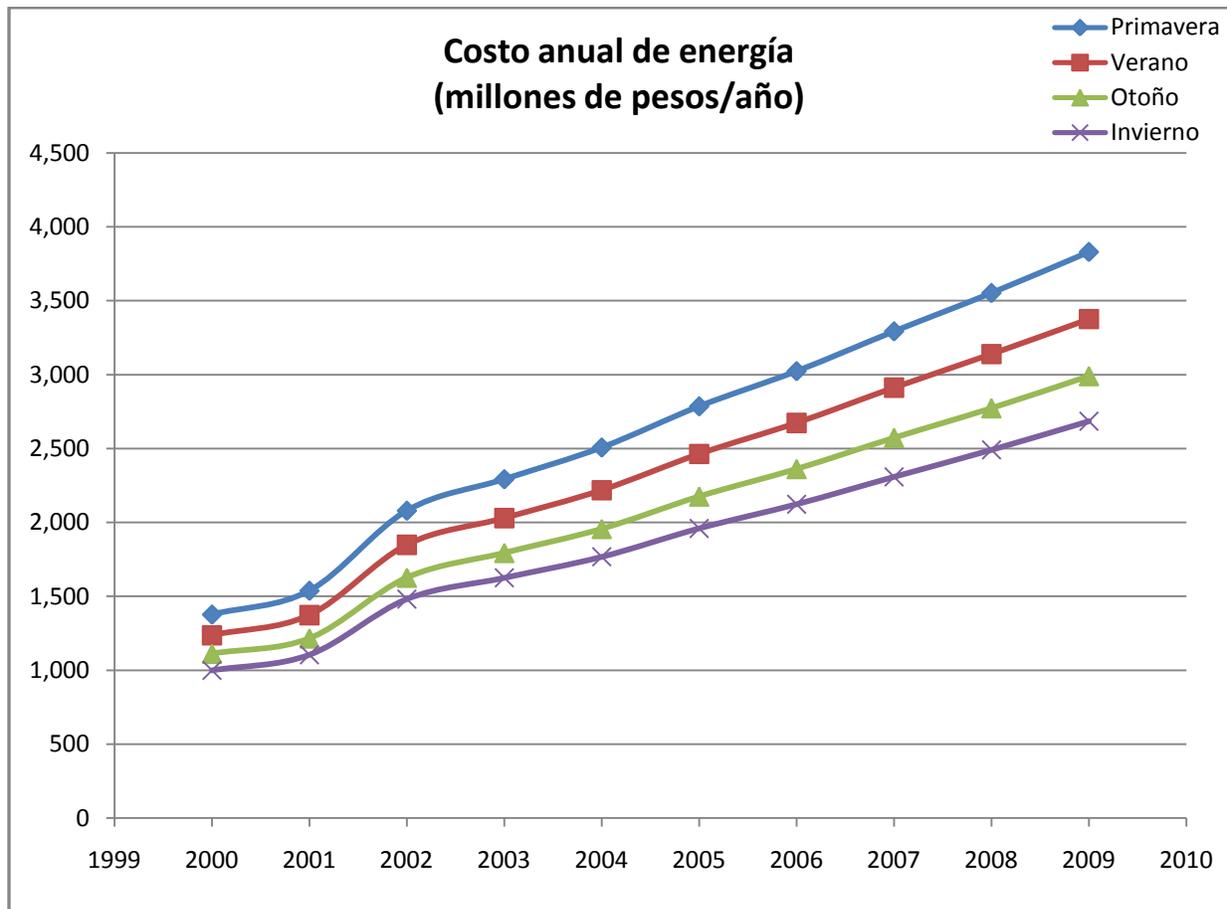
Gráfica 3.2. Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por región en México

Fuente: Elaboración propia con datos de Perspectivas OCDE (2010), Plan Nacional de Desarrollo (2007-2012), Tarifas Eléctricas (2000-2008) y ANFAD (2000-2008)

### 3.4.2. Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por estación del año

Para el caso de los costos por concepto de refrigeración doméstica, se observa en la gráfica 3.3 que en primavera son los más grandes, poco más del doble en comparación con el invierno. Además, las tendencias en general para las 4 estaciones del año van a la alza con el paso del tiempo, lo cual puede atribuirse a las condiciones climáticas en las que operan los aparatos. Por otra parte, la evolución de los consumos de energía para cada estación es muy constante, debido a los incrementos en las temperaturas que se presentan en cada una de las regiones del país.

Un escenario ideal sería que en las 4 estaciones del año se presentará el mismo costo de la energía consumida por los refrigeradores (un promedio de los gastos generados). Esto podría lograrse efectuando cambios graduales en la construcción de nuevas casas, que ayuden de forma directa a reducir los incrementos en las temperaturas a las cuales operan los equipos, ya que el aumento éstas se refleja directamente en el consumo de energía. También abriría que considerar el uso de aparatos más eficientes.



Gráfica 3.3. Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por estación del año en México

Fuente: Elaboración propia con datos de Perspectivas OCDE (2010), Plan Nacional de Desarrollo (2007-2012), Tarifas Eléctricas (2000-2008) y ANFAD (2000-2008)

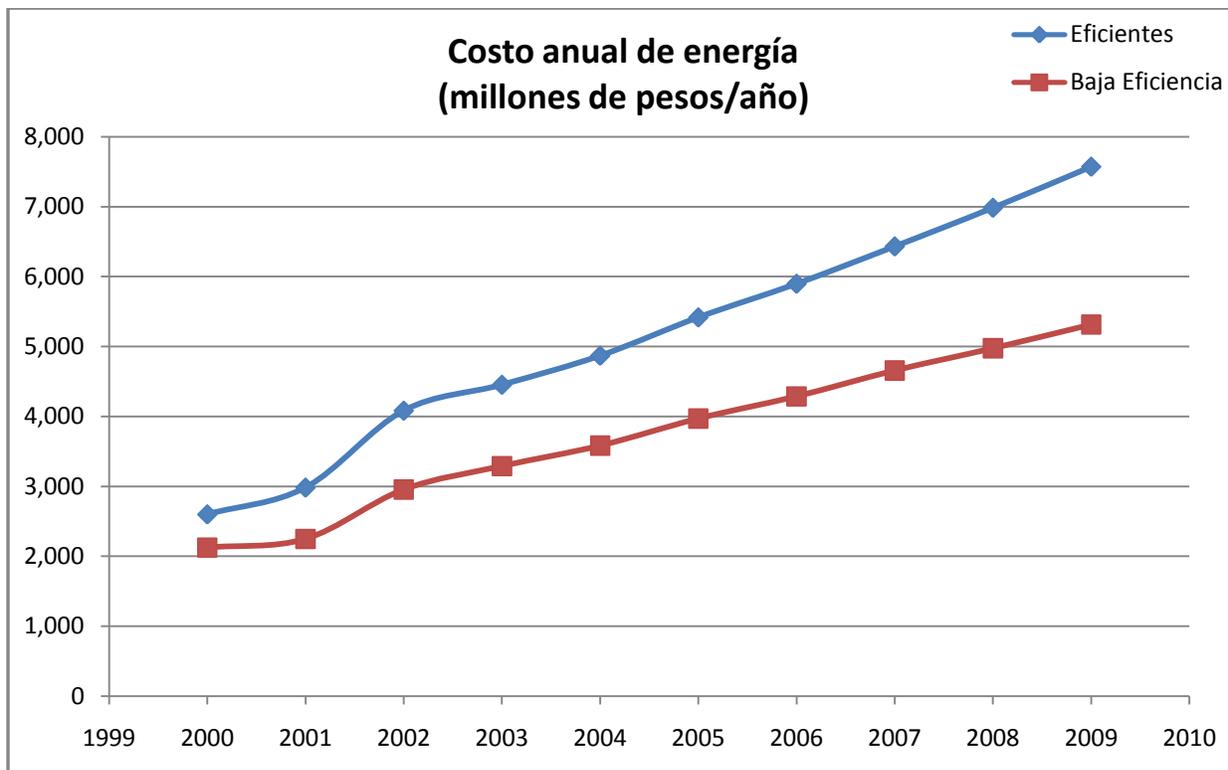
Analizando el comportamiento que existe en cada estación del año, se puede decir que si se reducen los costos generados en primavera por lo menos a la mitad, existiría un potencial de ahorro económico igual a lo gastado en invierno, mientras que para verano con relación al otoño, se presentarían ahorros muy similares. Por otra parte, se observa que ha venido existiendo un incremento en el consumo de energía bastante grande a partir del año 2002 con tasas de crecimiento de poco más de 14%, mientras que en años anteriores solo habían variaciones de menos del 7%, por lo que se puede argumentar una falta de compromiso con el ahorro de energía, junto con el incremento de refrigeradores de baja eficiencia.

### 3.4.3. Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por eficiencia

La eficiencia en los refrigeradores domésticos es trascendental, ya que esta relacionada con los costos de la energía que consumen, del año de fabricación y el tiempo de

operación. Por lo que un aparato se considera eficiente cuando sus consumos de energía están por debajo de los límites establecidos en las normas oficiales<sup>42</sup>. Se observa en la gráfica 3.4 que el consumo de energía relacionado con los gastos de operación, tanto para los aparatos eficientes como los de baja eficiencia va en aumento.

Por otra parte, el conjunto de refrigeradores domésticos eficientes muestra costos mayores; esto porque el parque que lo compone es mucho mayor y por consecuencia, aun cuando sean eficientes, en volumen representan un mayor número de unidades. Además que su tendencia va a la alza, debido al incremento anual de las ventas de equipos que entran al mercado, y el costo energético generado por los refrigeradores eficientes es casi el doble que los otros, lo cual en términos de potenciales de ahorro de energía es bajo; entonces la meta sería enfocarse en solo un grupo.



Gráfica 3.4. Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por eficiencia en México

Fuente: Elaboración propia con datos de Perspectivas OCDE (2010), Plan Nacional de Desarrollo (2007-2012), Tarifas Eléctricas (2000-2008) y ANFAD (2000-2008)

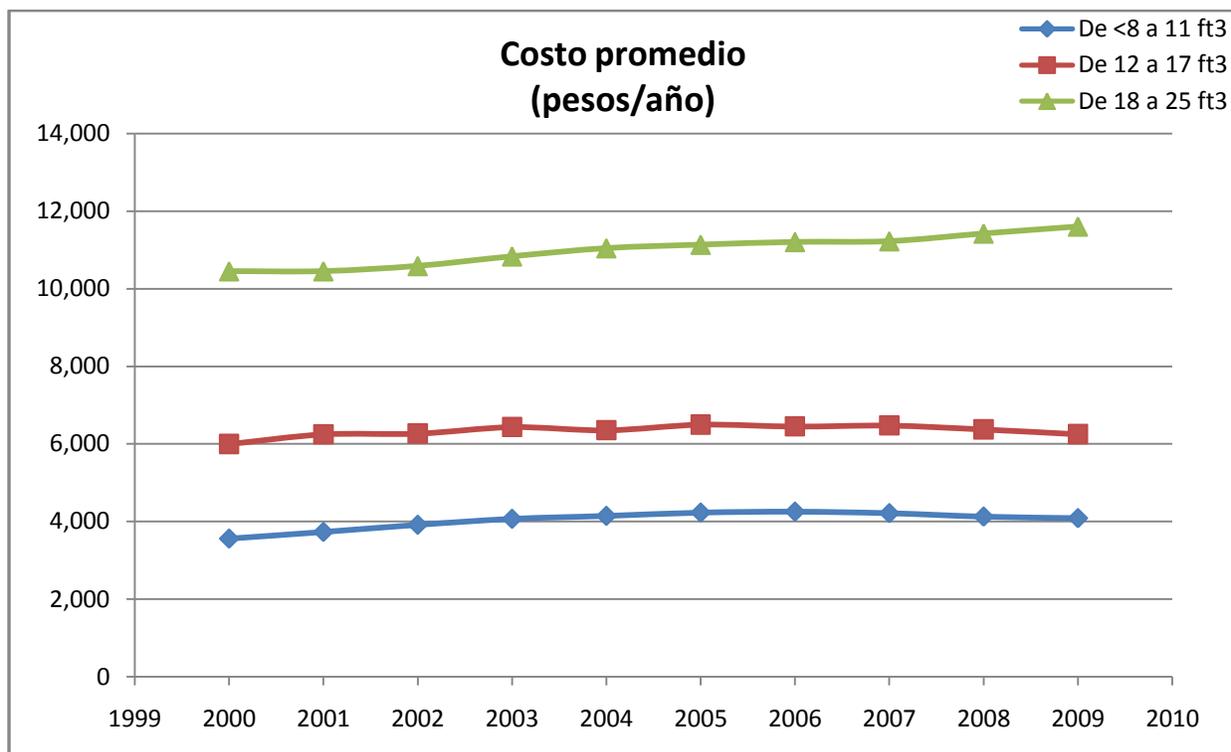
Lo ideal que se esperaría en un futuro es que los costos de los refrigeradores no se dividieran en eficientes y de baja eficiencia, sino que fueran todos eficientes, además de que presentaran un aumento gradual en los costos por operación relacionado de forma directa con el incremento en las unidades que existan, por lo que hay un potencial

<sup>42</sup> Norma Oficial Mexicana (2002). *Op. Cit.*

interesante de ahorro económico con el parque de refrigeradores domésticos de baja eficiencia.

### 3.4.4. Costo promedio de los refrigeradores domésticos por tamaño

Los refrigeradores más grandes (de 18 a 25 ft<sup>3</sup>) tienen los mayores costos promedio en el mercado, mientras que los catalogados como medianos (de 12 a 17 ft<sup>3</sup>) y los más pequeños (De <8 a 11 ft<sup>3</sup>), se mantienen muy por debajo del promedio, lo cual es de esperarse ya que dichos costos están en función del tamaño. Las tendencias para cada una de las clasificaciones de refrigeradores se mantienen estables en el transcurso de los años, ya que los precios están en función de la economía del país y no de la demanda en que exista en el mercado; entonces, si se pretende hacer una sustitución de equipos, se tiene que analizar desde el punto de vista de costos y no con el número de viviendas que requieran un refrigerador (Gráfica 3.5).



Gráfica 3.5. Costo promedio de los refrigeradores domésticos por tamaño en México

Fuente: Elaboración propia con datos de Perspectivas OCDE (2010), Plan Nacional de Desarrollo (2007-2012), Tarifas Eléctricas (2000-2008) y ANFAD (2000-2008)

Los costos para adquirir refrigeradores de más de 18 ft<sup>3</sup> son casi tres veces mayores a los de menos de 12 ft<sup>3</sup>, por ello se puede argumentar que los hogares capaces de pagar por este tamaño de equipo, lo hacen pensando en satisfacer sus necesidades de familia y no toman en cuenta la eficiencia y el ahorro de energía. Aunque el grupo de refrigeradores grandes en comparación con el total del parque no es tan representativo

en términos monetarios, por lo que habrá que ubicar los objetivos en los otros dos grupos.

Cabe mencionar que los costos para adquirir un refrigerador aun cuando no han variado mucho con el paso del tiempo, son algo elevados y dispares entre tamaños, lo cual afecta de forma directa en el consumo de energía, porque aun cuando son pocos los refrigeradores grandes, consumen mucha energía y se traduce en gastos mayores para los hogares. Por ello es importante considerar que cuando se pretenda adquirir un refrigerador se tomen en cuenta las necesidades que van a satisfacer, además de la eficiencia energética del modelo, esto con el fin de que no se adquiera un equipo que este sobrado en su capacidad y que en lugar de beneficiar a las familias les incremente los gastos.

### 3.5. Escenario base categoría Ambiental

Dentro de la categoría económica existe una gran variedad de información para integrar los indicadores complejos que la componen; la cual proviene principalmente de agencias gubernamentales<sup>43</sup>, en donde se incluyen aspectos legales, financieros, técnicos y regionales, todos relacionados con la interacción del medio ambiente y la sociedad.

Por otra parte, la información contenida en estos indicadores complejos está relacionada con las emisiones de CO<sub>2</sub> al medio ambiente, ya sea por el uso de los refrigeradores, o al momento de sustituirlos y sacarlos de funcionamiento. Para efectuar este análisis se consideraron diversas metodologías para cuantificar los niveles de emisiones de gases efecto invernadero<sup>44</sup> y se adecuaron a las necesidades del estudio. Además se efectuó la búsqueda de información relacionada con los desechos sólidos que se tendría por cambio de refrigeradores domésticos, dando como resultado la implementación sistemática de un modelo usado en desechos sólidos en general<sup>45</sup>; esto debido principalmente a que no existe información específica, y por el hecho de que es uno de los objetivos del trabajo de investigación, crear información que no hay disponible para el país.

El eje principal de esta categoría incluye todo lo relacionado con las emisiones de gases y la generación de desechos, para el sector residencial, aunque también están contenidos de forma implícita factores como estación del año, región, eficiencia energética o condiciones ambientales de operación. La información generada se complementa con fuentes secundarias, como censos o encuestas ingreso gasto<sup>46</sup>. En seguida se presentan cada uno de los indicadores complejos, junto con una breve reseña de su comportamiento en un periodo de tiempo específico.

---

<sup>43</sup> EUROSAT (2002). Energy and environment indicators. 2002 Edition, Luxemburgo.

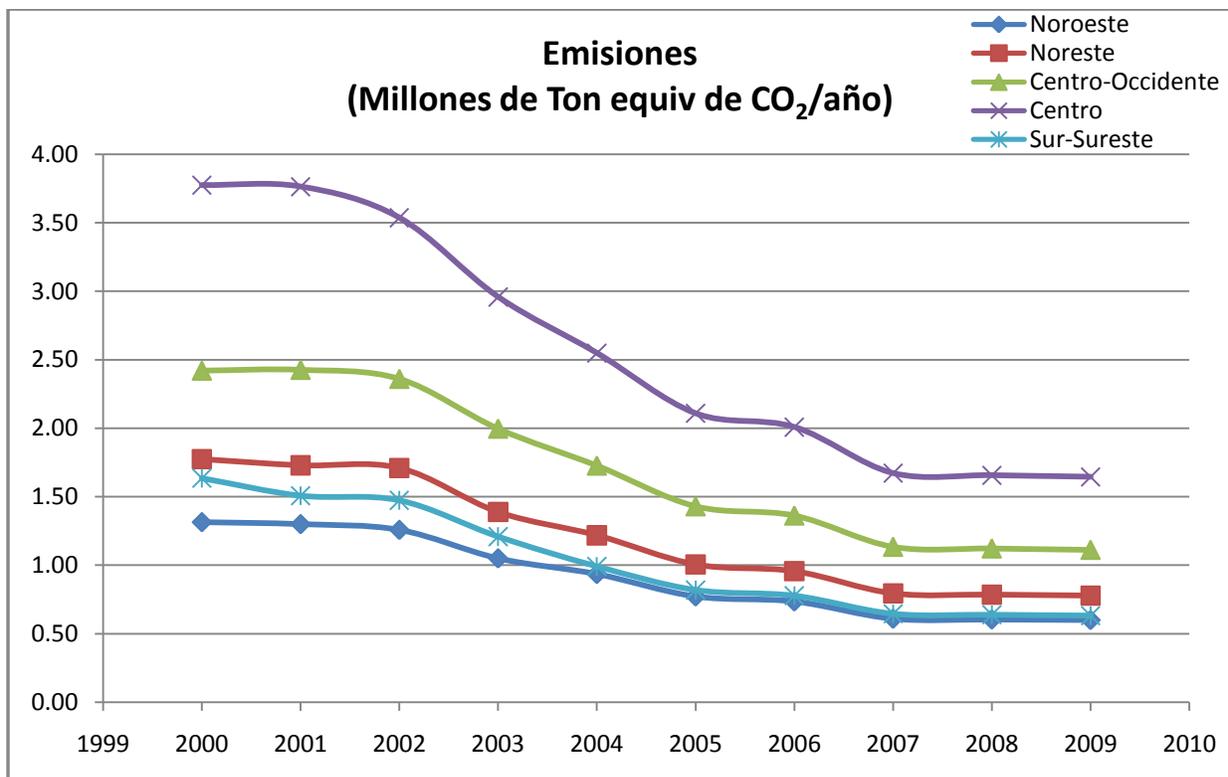
<sup>44</sup> Houghton, J. T, Meira Filho, L. G y Lim, B. (1997). Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases efecto invernadero, versión revisada en 1996. IPCC/OCDE/IEA. Bracknell: UK Meteorological Office.

<sup>45</sup> Agencia Internacional de Energía (2005). Nociones fundamentales de seguridad de la AIE. Principios fundamentales para la gestión de desechos sólidos. Viena Austria.

<sup>46</sup> INEGI (1995-2005). *Op. Cit.*

### 3.5.1. Emisiones de CO<sub>2</sub> por refrigeración doméstica por región

En la gráfica 3.6 se muestra que la región Centro presenta las mayores emisiones de CO<sub>2</sub> en comparación con demás, aunque cabe señalar que todas las tendencias se encuentran decreciendo, esto se debe a que la eficiencia de los refrigeradores ha ido en aumento con el paso del tiempo, además de que los equipos viejos poco a poco van saliendo se funcionamiento. Por otra parte, las emisiones de las regiones Noroeste y Sur-Sureste a partir de 2004 presentan una tendencia muy semejante, lo cual indica que existen una posible respuesta, en función del parque de refrigeradores que componen cada región, ya que de estudios anteriores<sup>47</sup> se sabe que la región Sur-Sureste está compuesta por mas aparatos que la Noroeste, por lo que se puede decir que en el norte hay un mayor número de refrigeradores de baja eficiencia y se tiene una reducción más considerable en la zona Sur-Sureste por el uso adecuado de la energía eléctrica en las viviendas. En general las emisiones disminuyen debido a que la eficiencia de la mayoría del parque de refrigeradores domésticos, junto con el aumento en los tratados y protocolos a nivel mundial que exigen la reducción en las emisiones de gases agotadores de la capa de ozono.



Gráfica 3.6. Emisiones de CO<sub>2</sub> por refrigeración doméstica por región en México  
Fuente: Elaboración propia con datos de EUROSAT (2002), J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B. Lim, (1997), Agencia Internacional de Energía (2005) e INEGI (1995-2005)

<sup>47</sup> Arroyo, (2004). *Op. Cit.*

Por otra parte, las emisiones de la región Centro son más del doble que las generadas en la región Noroeste y Sur-Sureste juntas, lo cual indica que éste es un indicador importante para cumplir con los objetivos del trabajo de investigación, en donde se pretende ubicar, proponer y explicar una serie de políticas energéticas relacionada con el uso de la energía en los hogares y el potencial de ahorro por sustitución de refrigeradores domésticos. Además, la gráfica 3.6 muestra que las emisiones de CO<sub>2</sub> se reducen de manera considerable a partir del año 2002 a nivel país, esto debido esencialmente a que la norma en vigor<sup>48</sup> presento cambios considerables en relación con su antecesora, en donde el consumo de energía y los límites máximos permitidos se redujeron de forma importante, además, antes del año 2000 no era tan importante el reducir las emisiones de contaminantes, porque no existía el protocolo de Kioto. También se observa que las emisiones de CO<sub>2</sub> eran muy constantes en magnitud para cada una de las regiones y posteriormente se comenzaron a reducir de forma trascendental, lo que ayuda de forma directa al medio ambiente.

### **3.5.2. Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por región**

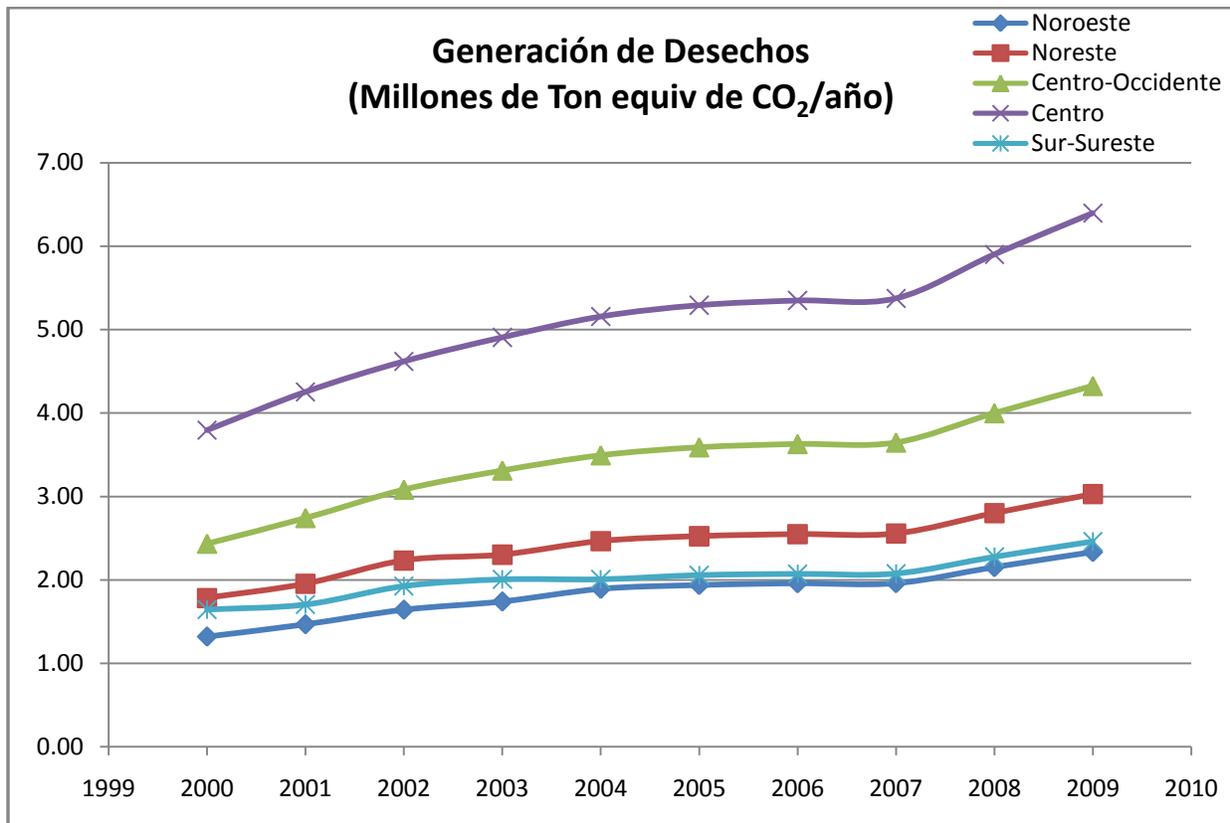
En la generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores domésticos, primeramente se estimó en unidades de peso (Toneladas al año), y posteriormente se efectuó un cambio a emisiones de CO<sub>2</sub> por año, esto con la finalidad de tener parámetros de comparación en las mismas unidades como lo marca la metodología.

Se observa en la gráfica 3.7 que la región Centro tiene la mayor cantidad de desechos generados, esto porque es donde se concentra el mayor número de refrigeradores que salen de funcionamiento. Las tendencias de todas las regiones en general son de crecimiento, pero tanto la región Sur-Sureste como la Noroeste son muy semejantes en magnitud. Por otra parte, a partir del año 2007 se presenta un incremento en la generación de desechos a nivel país, lo cual es bueno, ya que esto señala que ha venido en aumento el uso eficiente de energía relacionado a los refrigeradores domésticos, pero faltaría analizar si esto es lo que realmente se desea o aun falta más por hacer.

El comportamiento en la región Sur muestra que actualmente existe una sustitución de refrigeradores considerable, pero esto no es cierto, ya que en realidad se continúa operando con un parque de baja eficiencia<sup>49</sup>, lo cual crea una incertidumbre en el estudio, porque ahora se tendrán que identificar realmente que elementos afectan al consumo de energía residencial en esa región; y ubicar en donde se puedan obtener mejores resultados. Además, comparando las generaciones de desechos por sustitución de refrigeradores por región, se aprecia que el Centro produce el doble que la región Centro-Occidente y lo que producen juntas el Noroeste y el Sur-Sureste, lo que es de esperarse ya que el parque de refrigeradores se concentra en la zona centro del país.

<sup>48</sup> Norma Oficial Mexicana, (2002). *Op. Cit.*

<sup>49</sup> Arroyo F, Ambriz, J, Aguillón J. Canizal. J. (2009). *Op. Cit.*



Gráfica 3.7. Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por región en México

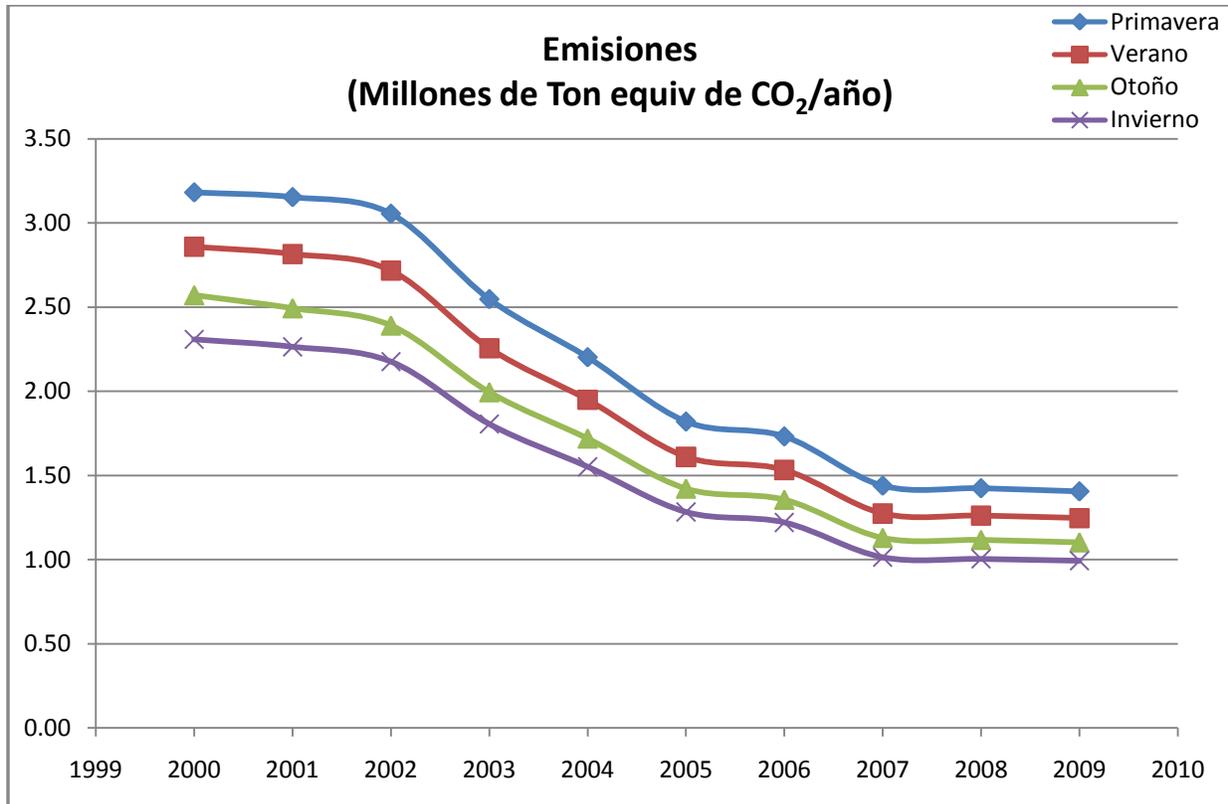
Fuente: Elaboración propia con datos de EUROSAT (2002), J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B. Lim, (1997), Agencia Internacional de Energía (2005) e INEGI (1995-2005)

### 3.5.3. Emisiones de CO<sub>2</sub> por refrigeración doméstica por estación del año

En la gráfica 3.8 se observa que en general el comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> para cualquier época del año va en decremento con el paso del tiempo, aunque en la primavera se presentan los niveles más altos, a comparación del invierno, esto se debe a que en los meses de más calor se utilizan de forma considerable los aparatos de refrigeración; o también por las condiciones climatológicas en las que operan. Las diferencias en magnitud de generación de emisiones de CO<sub>2</sub> entre estaciones del año son bastante homogéneas en el transcurso del tiempo, lo cual indica que las temperaturas ambiente cambian de forma paulatina mes con mes.

La reducción en la contaminación con el paso del tiempo indica que la eficiencia de los equipos ha ido en aumento; además, se observa que el año 2002, existió una reducción más considerable, debido a que el momento que entro en vigor el cambio de la norma oficial, la cual subyuga los límites de consumo de energía. Por otra parte, de la misma gráfica 3.8 se pueden inferir algunos comportamientos; por ejemplo, con el paso de tiempo las emisiones de CO<sub>2</sub> se tendrán que estabilizar, ya que no pueden llegar a ser

cero, por el hecho de que aun cuando se consiguiera que todo el parque de refrigeradores fuera eficiente, siempre existirá el consumo de combustibles; y esto se traduce en contaminación.



Gráfica 3.8. Emisiones de CO<sub>2</sub> por refrigeración doméstica por estación del año en México

Fuente: Elaboración propia con datos de EUROSAT (2002), J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B. Lim, (1997), Agencia Internacional de Energía (2005) e INEGI (1995-2005)

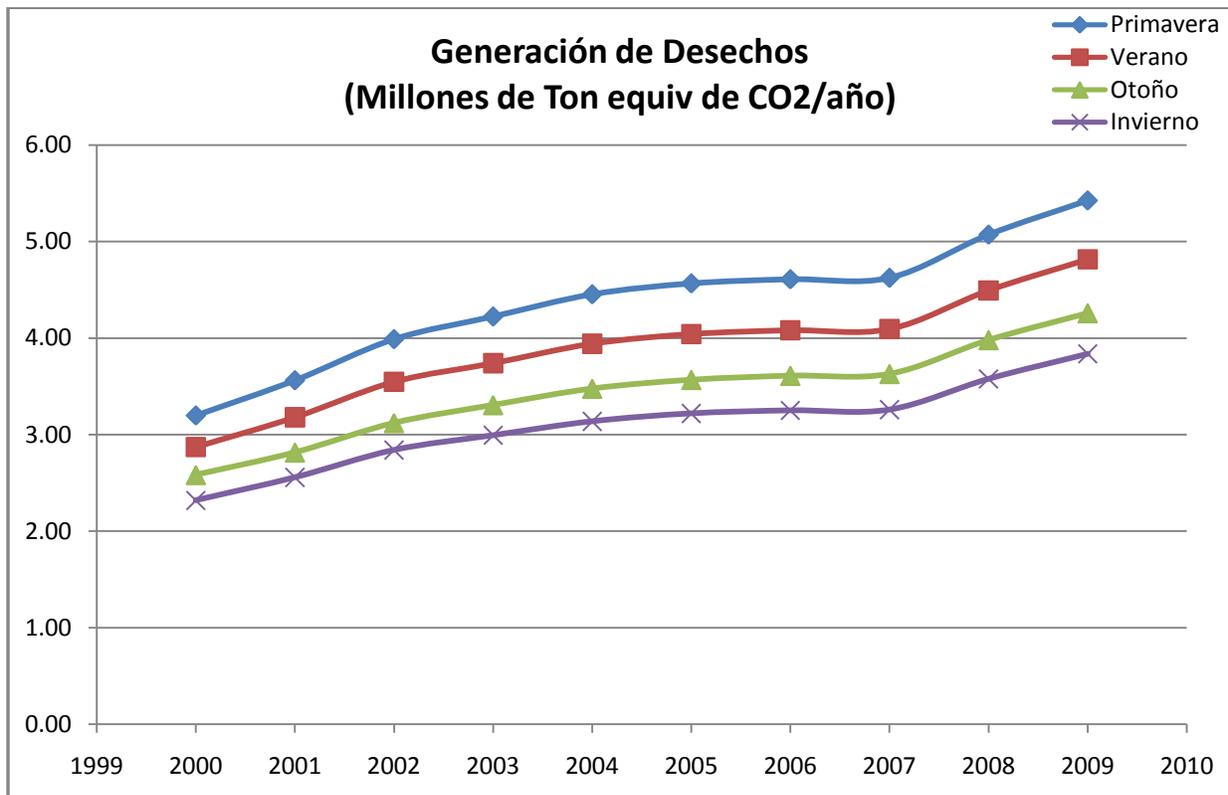
Por ello lo interesante de estos indicadores, es que pueden ubicar en donde ocurrirá este fenómeno, y así definir las acciones correspondientes con antelación y sacar ventaja de ellas. Además, en el histórico de la gráfica se encontró que para cualquier estación del año, la tendencia en las emisiones de contaminantes es baja en comparación con otras formas de consumir energía; aunque antes del año 2002, estas tendencias se mantenían bastante constantes. En primavera existe la mayor cantidad de emisiones en comparación con el invierno, aunque la diferencia entre ellas no es tan grande.

De todo lo descrito anteriormente se puede generalizar que las tendencias de las emisiones en general va reduciéndose; esto por lo que ya mencionado de que existe año tras año un aumento en el número de refrigeradores eficientes que entran al mercado, pero lo mejor sería que este tipo de emisiones se fueran al mínimo, lo cual se

alcanzaría con una sustitución acelerada de refrigeradores en las regiones del país que ya se detectaron con anterioridad.

### 3.5.4. Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por estación del año

La generación de desechos sólidos como se observa en la gráfica 3.9 se encuentra en aumento de manera muy semejante, para cada una de las estaciones del año. Aunque presenta saltos importantes de mencionar; primeramente entre el año 2000 y 2002 presentó un incremento de casi 25%, y posteriormente para los años 2003 al 2007 siguió el crecimiento pero ahora entre 10 y 15% y finalmente para el año 2009 los aumentos en la generación de desechos estuvieron del orden de 20%, por lo que analizando estos comportamientos se puede ubicar el periodo de tiempo en donde la eficiencia en los refrigeradores fue mayor con relación a los equipos que salen de funcionamiento, además de observar que en la época de primavera es cuando más se cambian los refrigeradores, ya que en esa estación del año se usa intensivamente.



Gráfica 3.9. Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por estación del año en México

Fuente: Elaboración propia con datos de EUROSAT (2002), J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B. Lim, (1997), Agencia Internacional de Energía (2005) e INEGI (1995-2005)

Como se aprecia en la gráfica 3.9, la generación de desechos sólidos va acorde con el incremento en la sustitución de refrigeradores de baja eficiencia por modelos nuevos más eficientes. Esto implica que se deberá de considerar en un futuro próximo un programa de tratamiento y recolección de desechos más ambicioso<sup>50</sup>, con el propósito de disminuir los impactos ambiental, social, económico y de salud que pueden generarse hacia otras regiones e incluso a nivel país

De la misma forma que en gráficas anteriores, los comportamientos en cada estación del año son bastante parecidos en magnitud, por lo cual la generación de desechos es mayor en primavera, básicamente por el hecho de ser el periodo de tiempo donde mantienen los mayores incrementos en las temperaturas, mientras que para las otras estaciones, aun cuando se puedan presentes momentos con temperaturas extremas, en magnitud son menores que las de primavera, y por ende generan los menores impactos.

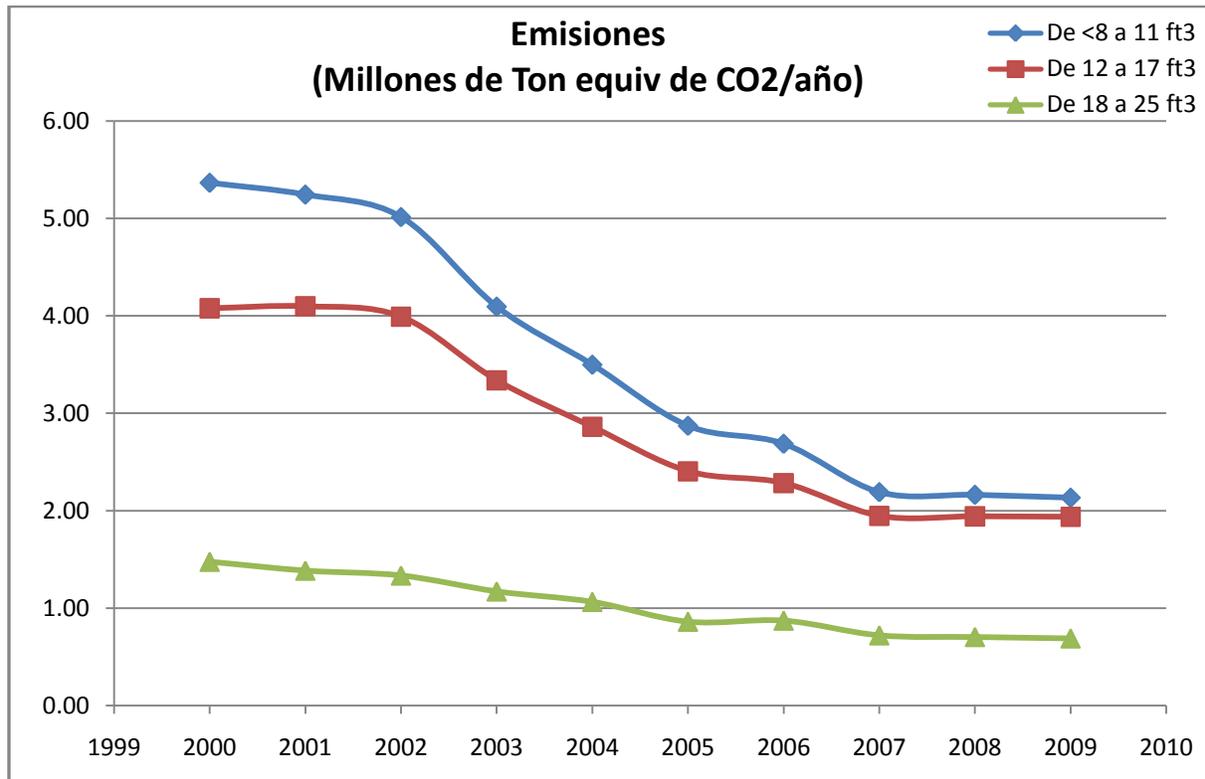
### 3.5.5. Emisiones de CO<sub>2</sub> por refrigeración doméstica por tamaño

Analizando las emisiones de contaminantes por tamaño de refrigerador, también existen espacios en el tiempo bastante interesantes para estudiar (Gráfica 3.10). En principio, en el periodo de 2000 a 2002 las emisiones son bastantes constantes; para los años posteriores se reducen las emisiones de manera considerable casi en un 60% en promedio hasta el 2007, esto es debido a un cambio en la norma oficial de eficiencia energética como se menciono anteriormente. Luego a partir de 2008 las emisiones de contaminantes son de nueva cuenta constantes y se presenta un comportamiento en magnitud semejante para los refrigeradores de tamaño pequeño (menores de 11ft<sup>3</sup>) y los considerados medianos (mayores de 12 y menores de 17 ft<sup>3</sup>), lo cual se puede interpretar como una reducción en el uso de los refrigeradores medianos por parte de las viviendas, y además de que los refrigeradores pequeños se comienzan a adquirir en mayor volumen.

Por otra parte, las emisiones de contaminantes son más en los refrigeradores pequeños, ya que representan la mayor cantidad de unidades que existen; mientras que para los grandes se mantiene muy constante el conjunto de emisiones, eso quiere decir que este grupo de refrigeradores no es tan adquirido por la mayoría de las viviendas, aunque si presenta una breve reducción en los niveles de contaminación emitido por los hogares. El nicho de oportunidad de ahorro de energía y reducción de contaminantes esta en los refrigeradores de tamaño pequeño ya que su emisión de contaminantes son 3 veces más en relación con los equipos más grandes. Además los refrigeradores de tamaño mediano, también tienen un potencial de disminución de emisiones interesante ya que son casi de la misma magnitud que los pequeños, pero en volumen de parque no tanto, por lo que se tendrá que prever un programa de sustitución con mayor rapidez.

---

<sup>50</sup> Gerencia de protección ambiental, (2007). Programa de Ahorro Sistema Integral (ASI). Sustitución de Refrigeradores y Equipos de Aire Acondicionado. Comisión Federal de Electricidad. Dirección de Proyectos de Inversión Financiada.

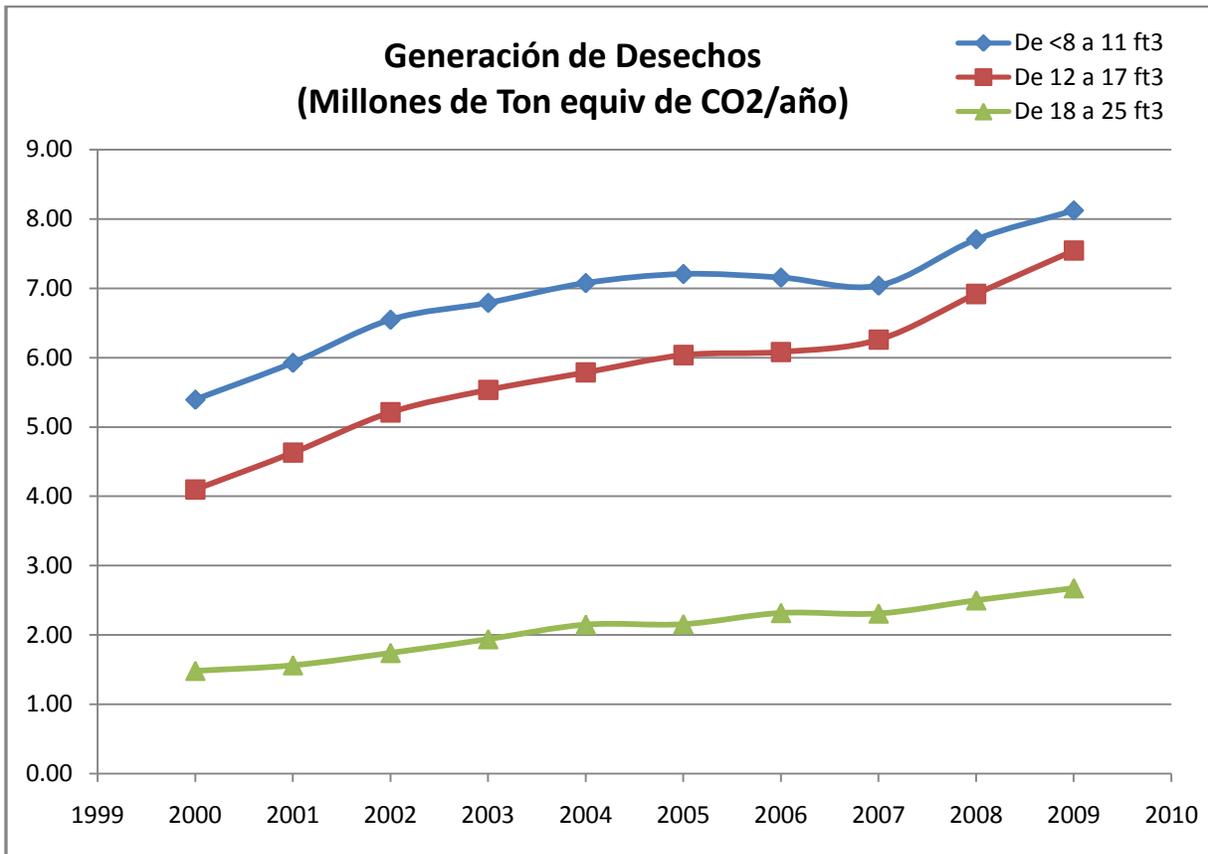


Gráfica 3.10. Emisiones de CO<sub>2</sub> por refrigeración doméstica por tamaño en México  
Fuente: Elaboración propia con datos de EUROSAT (2002), J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B. Lim, (1997), Agencia Internacional de Energía (2005) e INEGI (1995-2005)

### 3.5.6. Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por tamaño

De la gráfica 3.11 se observa que los refrigeradores pequeños generan una mayor cantidad de desechos por sustitución que los de tamaño mediano y grande, por el hecho de que en volumen son los que tienen más unidades. Los 3 tamaños de refrigeradores presentan tendencias hacia un aumento, y si se compara con la tasa de sustitución de los equipos que salen de funcionamiento por antigüedad, se puede decir que hay una gran brecha entre los eficientes y los de baja eficiencia. Lo ideal sería que esta sustitución fuera en función del cambio de refrigeradores con más de 10 años de antigüedad hacia los nuevos modelos.

Esta tendencia con el paso de los años tenderá a subir, todo en función de que aumente la demanda de refrigeradores y se considere implementar un programa de manejo de residuos sólidos. En otro orden de ideas, la generación de desechos de los refrigeradores de menor tamaño ha crecido con el paso del tiempo, a un ritmo de entre 30 y 35%, eso porque es el aparato que más se adquiere para sustituir otro de un tamaño mayor; por ello el comportamiento es muy semejante a los que presentan los de tamaño mediano.



Gráfica 3.11. Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por tamaño en México

Fuente: Elaboración propia con datos de EUROSAT (2002), J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B. Lim, (1997), Agencia Internacional de Energía (2005) e INEGI (1995-2005)

Cabe señalar que a partir del año 2007, la generación de desechos aumento casi 15% para los refrigeradores de menor y mediano tamaño, lo cual se puede relacionar de forma directa con el aumento en la producción de equipos, junto con el crecimiento de las viviendas<sup>51</sup>, las cuales requieren tener por lo menor uno de éstos para cubrir las necesidades básicas. Los refrigeradores de tamaño grande mantienen su comportamiento en generación de desechos a través del tiempo, esto porque es un equipo que se adquiere poco, y también poco se sustituye; como consecuencia el posible potencial que tendría en relación al ahorro de energía, es bajo pero no despreciable para el estudio.

Por otra parte, la sustitución de refrigeradores de gran tamaño, genera una cantidad de desechos mucho menor, dado que no sufre una sustitución tan importante con el paso del tiempo, de ahí el interés de proponer un programa de cambios de aparatos

<sup>51</sup> INEGI (1990-2000). *Op. Cit.*

gradualmente y por tamaño, de acuerdo a lo establecido por este grupo de indicadores, junto con las políticas energéticas que se pretendan desarrollar.

### 3.6. Escenario base categoría Social

En relación con la categoría social existe una gran variedad de información para integrar los indicadores complejos que la componen; básicamente la vinculada a agencias gubernamentales<sup>52</sup>, en donde se incluyen aspectos legales, financieros, económicos, social, técnicos, regionales y de salud, todos relacionados con la interacción entre la sociedad y el entorno que le rodea. Con respecto a la dimensión social, se desarrollaron indicadores compuestos a partir de índices tales como el nivel de vida<sup>53</sup>. Además de información generada con respecto al Índice de Desarrollo Humano (IDH) elaborado a partir de datos de adquisición de refrigeradores por vivienda con electricidad<sup>54</sup>. Este conjunto de indicadores complejos pretende medir el desarrollo de la sociedad, entendiendo por éste un desarrollo de carácter multidimensional, donde el aspecto económico es importante pero no suficiente, es decir, se deben involucrar categorías ambientales, de salud y tecnológicas para tener una buena calidad de vida.

Los aspectos involucrados con la categoría social están estimados a su vez mediante elementos sociales tales como la tasa de crecimiento de la población, el porcentaje de viviendas que cuentan con energía eléctrica y refrigerador, el porcentaje de personas sin acceso a la electricidad, sin servicios de salud y el número de refrigeradores que se comercializan en el mercado, por medio de metodologías<sup>55</sup> para cuantificar los aportes de cada una información; y que esta de igual forma que las anteriores se pueda plasmar en gráficas comparativas. En seguida se presentan cada uno de los indicadores complejos, junto con una breve reseña de su comportamiento en un periodo de tiempo específico.

#### 3.6.1. Total de viviendas con servicio eléctrico por región

Para el presente indicador se considero el número de viviendas que cuenten con el servicio de energía eléctrica, y en la gráfica 3.12 se observa que la zona centro es la más representativa del país, mientras que la región Noroeste tiene una tendencia muy constante entre el crecimiento de la vivienda y la población. Además la región Centro representa 4 veces más el número de hogares que la Noroeste, por ello la situación que se vive actualmente en dicha región con la falta de infraestructura y servicios para ciertos grupos sociales.

---

<sup>52</sup> Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI (2005). Encuesta ingreso gasto. México 2000 a 2005.

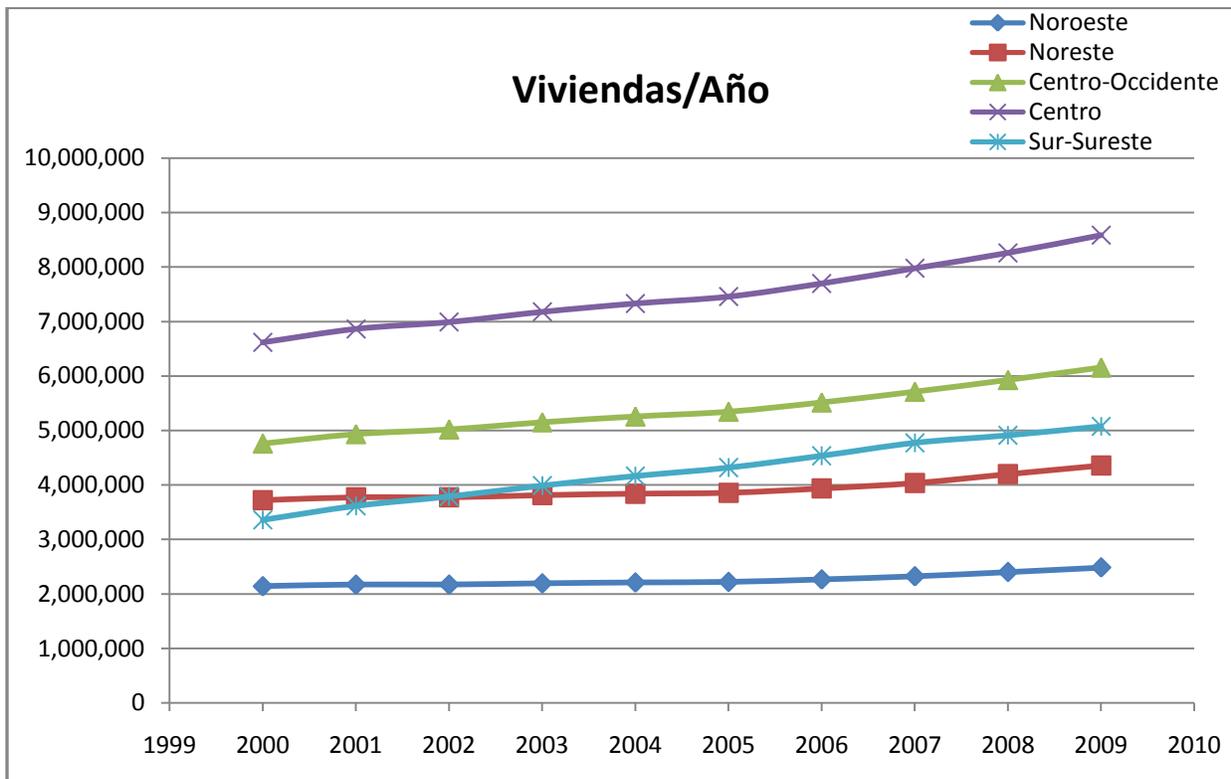
<sup>53</sup> Gligo, N. (1997). Política, sustentabilidad ambiental y evaluación patrimonial, Pensamiento Iberoamericano, núm. 12, pp. 23-39.

<sup>54</sup> Kapp, K. W. (1995). Los indicadores ambientales como indicadores de los valores sociales de uso. Economía de los recursos naturales: un enfoque institucional, Economía y Naturaleza, núm. 2, Fundación Argentaria, Madrid.

<sup>55</sup> World Bank (1997): Expanding the measure of wealth: indicators of environmentally sustainable development. Environmentally Sustainable Development Studies and Monographs Series, núm. 17, The World Bank, Washington, D. C.

Para el caso de la región Sur-Sureste, su comportamiento es por demás interesante, ya que sobrepasó a la Noreste después del año 2002, casi un 15% en promedio; y como se observa la tendencia de ésta en un futuro es seguir aumentando de manera importante. Esto puede deberse a las situaciones por las que pasan ambas regiones, mientras una aumenta en relación a vivienda, la otra se mantiene estable, por lo que es importante analizar más a detalle este comportamiento. Las tendencias en general para las 5 regiones son hacia el crecimiento de la vivienda pero de forma lenta, lo cual es de esperarse por el crecimiento actual de la población del país.

La región Centro presenta un aglomerado de viviendas 70% mayor que la región Noroeste, por lo que esta zona se podría considerar para iniciar programas de sustitución de refrigeradores, ya que las demás regiones tienen una evolución más lenta y constante. Por otra parte, la región Centro-Occidente tiene poco más del 10% de hogares electrificados que la Sur-Sureste y la Noroeste juntas, por ello hay de considerar el supuesto de que existe una falta de recursos para las viviendas de esas zonas, o que están creciendo a un ritmo constante.



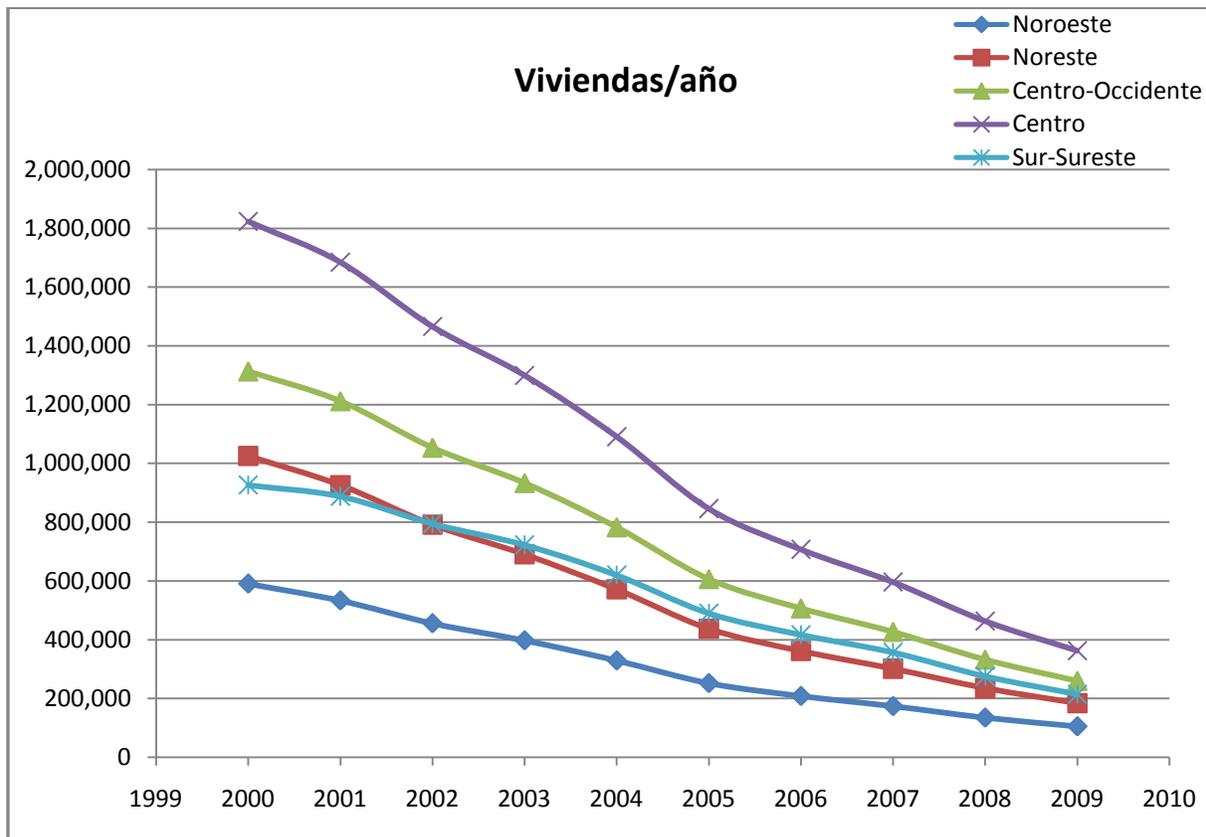
Gráfica 3.12. Total de viviendas con servicio eléctrico por región en México  
Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2005), Gligo, N. (1997), Kapp, K. W. (1995) y World Bank (1997)

También se puede mencionar que el aumento en el número de refrigeradores está muy relacionado con el incremento de la vivienda, ya que cada hogar necesita de servicios básicos para operar y el refrigerador es uno de ellos, aunque más adelante se podrá ver

que existe una brecha importante en el número de refrigeradores en relación al total de viviendas que cuentan con electricidad.

### 3.6.2. Total de viviendas con servicio eléctrico sin refrigerador por región

De la gráfica 3.13 se puede observar que el total de viviendas sin refrigerador que cuentan con servicio eléctrico va en reducción con el transcurso del tiempo. Esto implica que de manera pausada se van cubriendo parte de las necesidades básicas de las viviendas, pero que aún existe un rezago importante que se tendrá que atender. Por otra parte, este indicador se espera que tenga la tendencia de llegar a cero, y con ello cubrir de forma total el requerimiento de un refrigerador por vivienda; lo cual es bastante optimista desde el punto de vista de la categoría social, pero no por eso imposible. La reducción de la falta de refrigeradores a partir del año 2000 hasta el 2009, fue de más del 90% en general para todas las categorías, con una tendencia bastante constante; por lo que se puede suponer que dicho comportamiento se mantenga con el paso de tiempo.



Gráfica 3.13. Total de viviendas con servicio eléctrico sin refrigerador por región en México

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2005), Gligo, N. (1997), Kapp, K. W. (1995) y World Bank (1997)

La región Centro presenta el mayor número de viviendas sin refrigerador, básicamente por que cuenta con el mayor porcentaje de participación a nivel nacional. Por otra parte, la tendencia de la región Noroeste disminuyó más rápido y sobrepasó a la región Sur-Sureste en el año 2002, lo que hace pensar que existe un atraso económico importante en el sur del país con respecto a las otras regiones, por la falta de refrigeradores en viviendas que cuentan con energía eléctrica. Además la región Centro-Occidente también exhibe una tendencia que con el transcurso de los años podría rebasar a la región Sur.

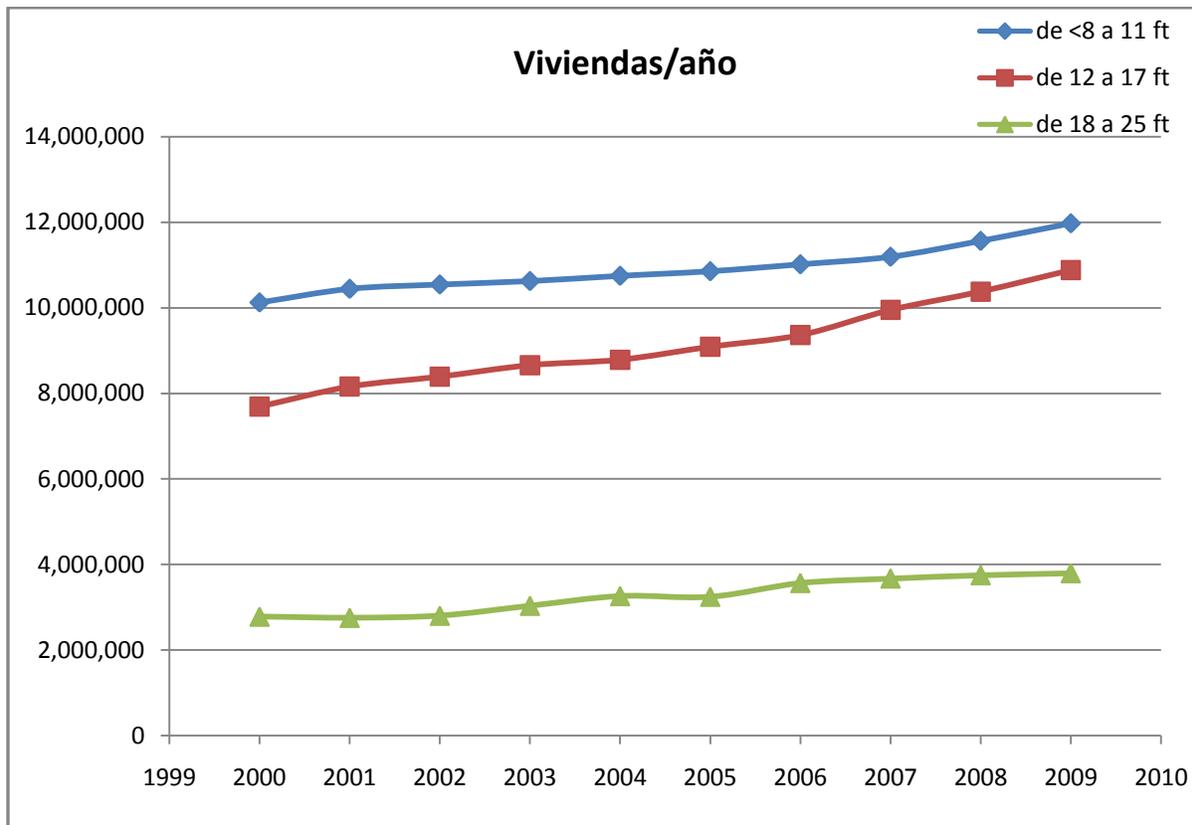
Debido a lo anterior, la región Centro y Sur-Sureste requieren de un programa de apoyo importante para adquirir refrigeradores domésticos para cubrir sus necesidades básicas de vivienda, tanto por la falta de equipos, como por la carencia de recursos para cubrir las necesidades básicas de vivienda, además es importante mencionar que este tipo de tendencia tendrá que acelerarse más para cubrir el nicho faltante de refrigeradores en el menor tiempo posible.

### **3.6.3. Total de viviendas con servicio eléctrico con refrigerador por tamaño**

Los refrigeradores pequeños están presentes en la mayoría de las viviendas de todas las regiones del país, tal y como se observa en la gráfica 3.14, pero los equipos medianos se encuentran muy cerca en cuestión de volumen. Aunque en conjunto los refrigeradores pequeños representan el aporte de los medianos y grandes juntos. La tendencia de crecimiento es lenta para los 3 grupos, lo cual quiere decir que las viviendas que ya cuentan con refrigerador no lo cambian en mucho tiempo, mientras que las otras viviendas que aun no cuentan con ningún equipo, seguirán así por un tiempo considerable.

En otro orden de ideas, si se tratara de reducir la participación de los refrigeradores grandes en las viviendas, se podría conseguir un ahorro significativo de energía, ya que la sustitución de éstos sería de forma acelerada ya que en conjunto no representan muchas unidades, aparte de que ya se encuentran ubicados por región del país. Con esta iniciativa se podría llevar a cabo una saturación adecuada en los otros 2 grupos, y así cubrir a las viviendas que no cuentan con refrigerador con uno eficiente y de calidad.

Además, es importante tener en cuenta el crecimiento de la vivienda en relación a los nuevos refrigeradores que entran al mercado, y los que se sustituyen por tener una baja eficiencia energética, ya que podría darse el remoto caso de tener ahora más refrigeradores funcionando que viviendas que lo requieran.



Gráfica 3.14. Total de viviendas con servicio eléctrico con refrigerador por tamaño en México

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2005), Gligo, N. (1997), Kapp, K. W. (1995) y World Bank (1997)

### 3.7. Escenario base categoría Salud

A lo largo de las últimas décadas, México ha experimentado mejoras notables en la expectativa de vida y una reducción constante en las tasas de mortalidad. No obstante, ésta sigue siendo la cuarta más baja entre los países de la OCDE<sup>56</sup>. Vinculado a esto existe el riesgo de enfermarse o perder la vida por la ingesta de alimentos en descomposición, por la falta de un equipo de refrigeración para conservarlos en buen estado, ya sea en zonas rurales, urbanas o en los estados más pobres.

La información que integra a los indicadores complejos de esta categoría se obtuvo del sistema mexicano de salud<sup>57</sup> y se compone de relaciones del sector privado y público, fragmentado en varios organismos integrados verticalmente que prestan servicios de salud y que cubren a diferentes segmentos de la población<sup>58</sup>. Además los datos

<sup>56</sup> OCDE. (2010). Perspectivas OCDE: México Políticas Clave para un Desarrollo Sostenible. OCDE.

<sup>57</sup> Secretaría de Salud (2009). Informe de actividades sector salud México 2006-2008.

<sup>58</sup> ILO, (1998). Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Ginebra Suiza. Organización Internacional del Trabajo

técnicos adquiridos están correlacionados inversamente con elementos como la tasa de mortalidad por ingesta de alimentos descompuestos, así como con las zonas geográficas más vulnerables del país.

En consecuencia, la información de este tipo de indicadores compuestos es el resultado de no contar con suficientes fuentes de documentación, que se relacionen con el estudio. Por ello es que se integró un grupo de indicadores complejos, extrapolando información de otros estudios<sup>59</sup>. Además se decidió que solamente se integrarían datos relacionados con las defunciones por falta de refrigeradores domésticos; y las ventas de los mismos, junto con la evolución de la vivienda en México, debido a que es la información más importante y que puede aportar mucho a la investigación. A continuación se presentan cada uno de los indicadores complejos que se obtuvieron y una breve reseña de su comportamiento.

### **3.7.1. Defunciones por enfermedades estomacales por vivienda con refrigerador por región**

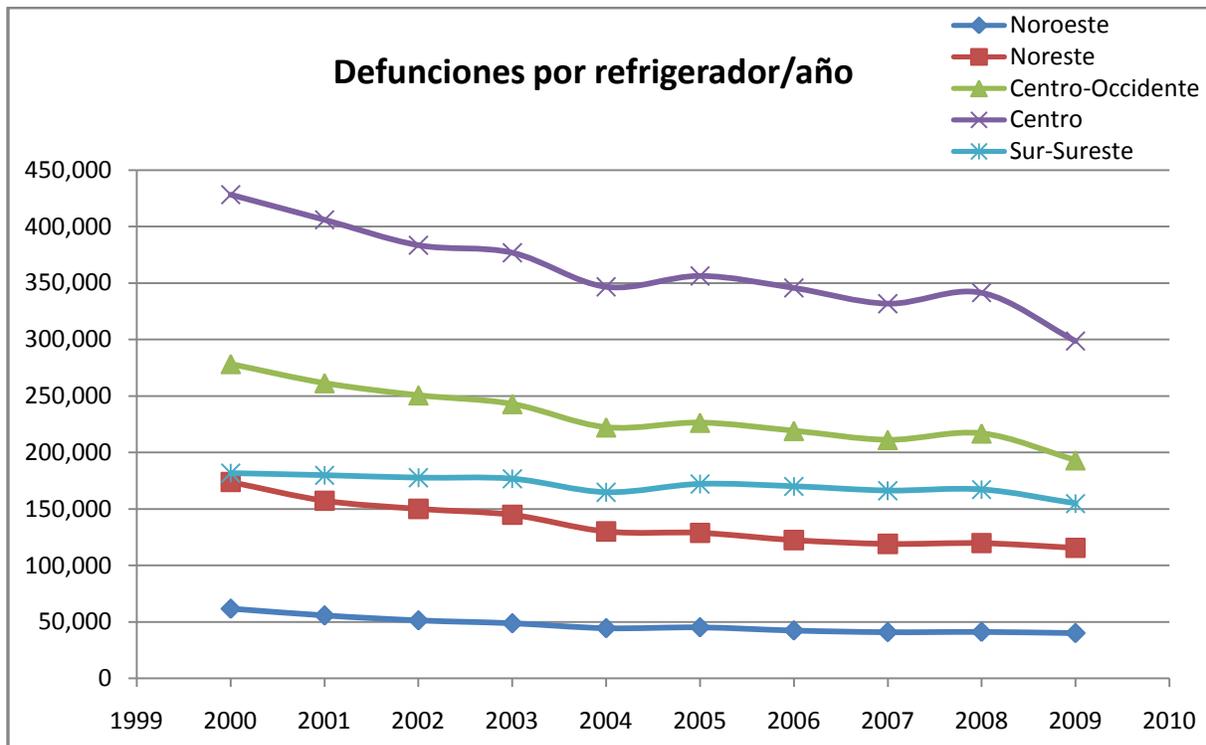
Las defunciones por enfermedades estomacales como se muestran en la gráfica 3.15 presentan una tendencia a la baja de manera general, y la región centro es en donde hay un mayor número de éstas. Aunque por otra parte, es necesario apuntar que actualmente no existen indicadores que relacionen las defunciones por enfermedades estomacales con la falta de un refrigerador en la vivienda; por ello la importancia de desarrollar este grupo, para no dejar de cuantificar todo tipo de información que le compete al estudio.

Además de la misma gráfica 3.15 se observa que el menor número de defunciones está en la región Sur-Sureste, por lo que se pensaría que los niveles de salud son óptimos, pero eso a ciencia cierta no es verdad, ya que como se a descrito en los demás indicadores, existe una carencia en el parque de refrigeradores domésticos, por lo que las defunciones reportadas en este indicador solo cuantifican los viviendas que tiene equipos y como consecuencia son menores en comparación de las demás regiones.

La relación que existe entre defunciones por refrigerador y región del país, demuestra que hay una diferencia de poco mas de 80% entre la zona Centro y la Sur-Sureste, pero en términos generales, los números indican que en hogares con refrigerador el promedio de defunciones por enfermedades estomacales es de 0.2. Mientras que en viviendas que no tienen un equipo de refrigeración el promedio aumenta a 0.9, por tal motivo es que las políticas de desarrollo social deben enfocarse en saturar el parque de refrigeradores.

---

<sup>59</sup> OIEA, (1999). Comparative assessment of the health and environment impacts of various energy systems from severe accidents. Working material. Proceeding of a technical committee meeting, Vienna Austria.



Gráfica 3.15. Defunciones por enfermedades estomacales por vivienda con refrigerador por región en México

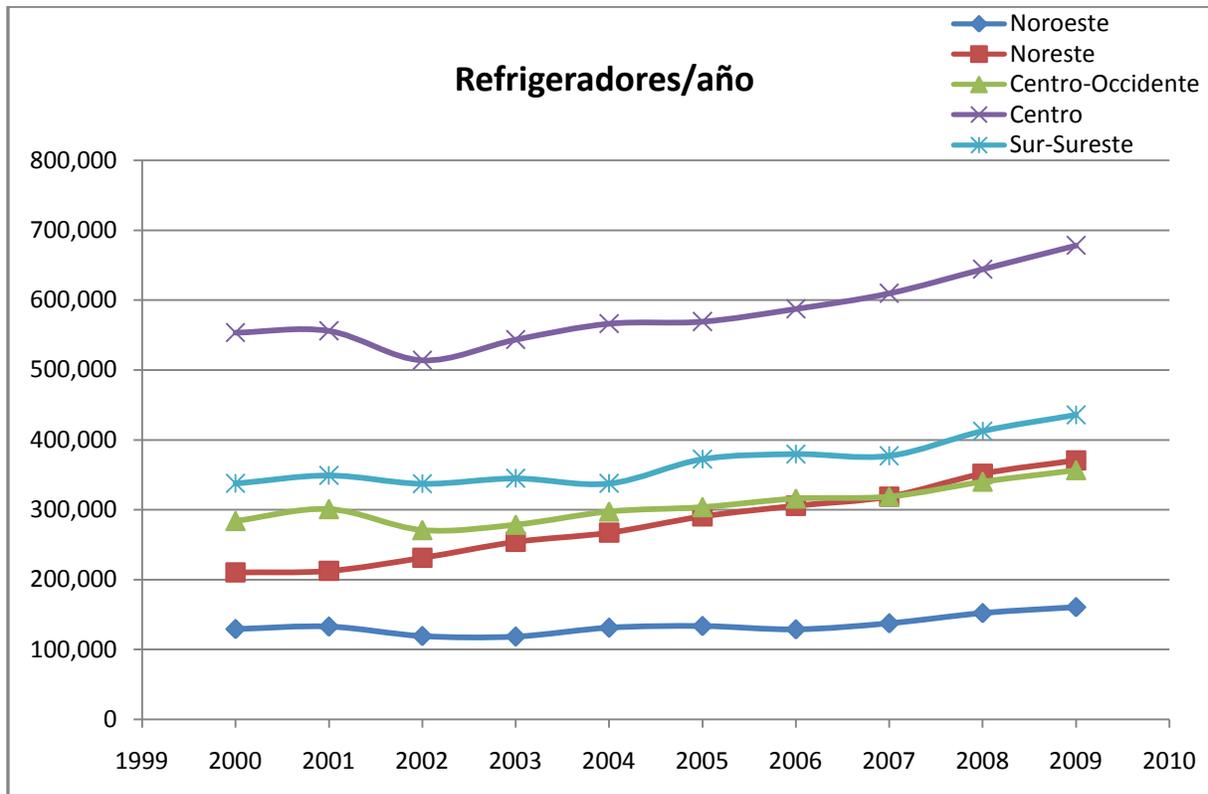
Fuente: Elaboración propia con datos de OCDE. (2010), ILO, (1998) y OIEA, (1999)

Por otra parte, el número de defunciones registrado en el Sur-Sureste solo son una tercera parte del total de la región Centro. Además de que para el año 2000 en la zona Sur-Sureste y la Noreste habían cifras muy semejantes; posteriormente en el año 2008 el Noreste disminuyeron las muertes, mientras que en Sur-Sureste se mantuvo constante ese rubro, lo que podría interpretarse como el hecho de que existió algún programa de salud en el Norte del país, o alguna campaña de concientización sobre la adquisición de equipos refrigeradores, mientras que la zona Sur no tuvo ningún tipo de apoyos. Aunque cabe destacar que este tipo de indicadores no solo se relacionan con los refrigeradores domésticos, sino también con los hábitos alimenticios que hay en cada región del país.

### 3.7.2. Ventas de refrigeradores domésticos por región

Las ventas de refrigeradores domésticos en general son cambiantes con el transcurso de tiempo, debido principalmente a la volatilidad de las economías, por ello es que el análisis de este indicador se torna algo complejo, pero aun así se tiene información valiosa. Primeramente se observa en la gráfica 3.16 que las ventas son mayores en la región Centro, ya que ahí es donde se concentra la mayor cantidad de viviendas en el país. En parte Noroeste se presenta la menor cantidad de equipos adquiridos, aunque

es constante con respecto a las demás regiones, por lo que en esa región el crecimiento de las viviendas se ha mantenido invariable.



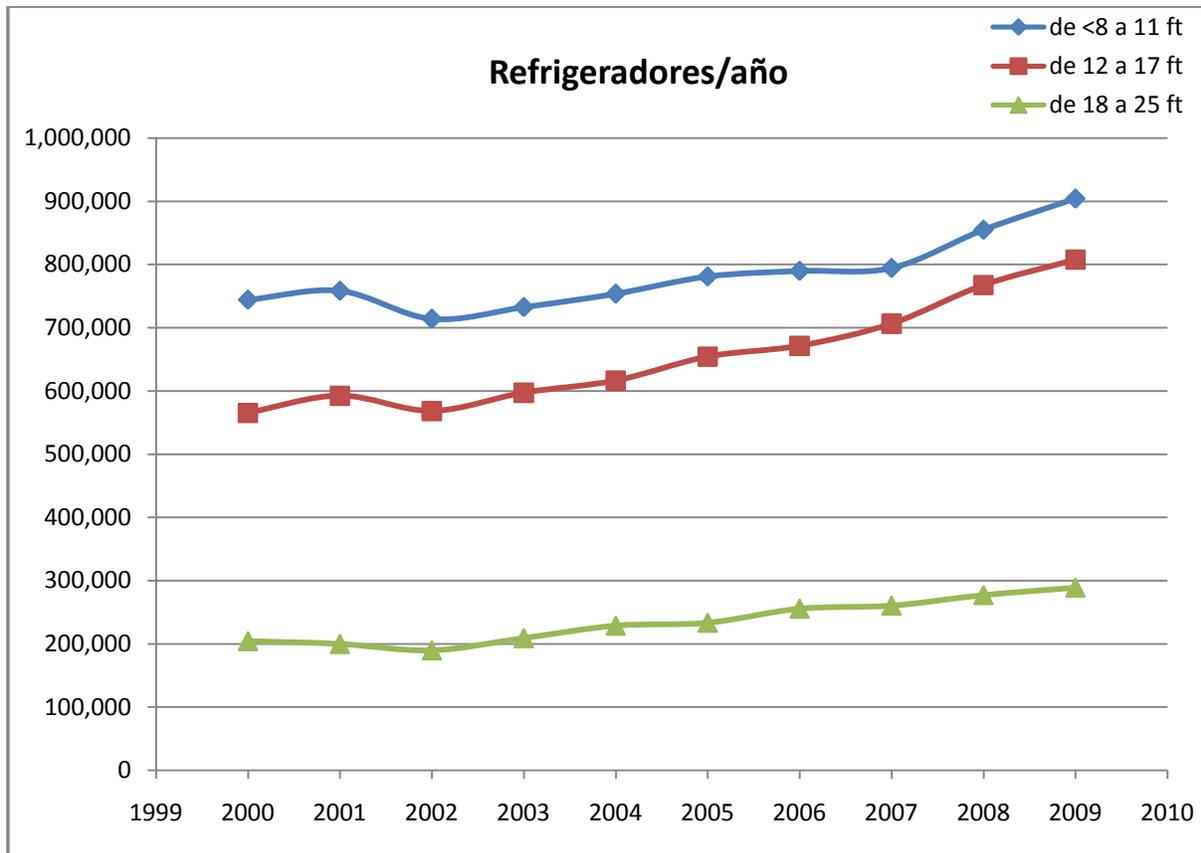
Gráfica 3.16. Ventas de refrigeradores domésticos por región en México  
Fuente: Elaboración propia con datos de OCDE. (2010), ILO, (1998) y OIEA, (1999)

La tendencia en las ventas de la región noroeste para el año 2007 fue demasiado semejante a la Centro-Occidente, lo cual puede ser debido a que existen muchos factores en común de ambas zonas, como pueden ser los mismos fabricantes de refrigeradores, iguales costos de producción, o el crecimiento de la económica en la parte Norte está aumentando más rápido que las demás regiones. Para efectos del estudio lo mejor sería aumentar el número de ventas, con la finalidad de cubrir los faltantes de refrigeradores en todas las regiones, y este aumento en la producción de unidades estaría en función de cada una de las regiones y las necesidades de vivienda que se presenten año tras año.

### 3.7.3. Ventas de refrigeradores domésticos por tamaño

Para los refrigeradores pequeños el número de ventas es mayor en comparación de los otros tamaños (Gráfica 3.17), aunque con variación a través del tiempo. Por su parte, los refrigeradores grandes se venden poco en cuestión de volumen, pero tienen a ir aumento con el transcurso del tiempo, aunque como se mencionó anteriormente esto

generará un aumento en el consumo de energía y por consecuencia, mayores costos para las viviendas.



Gráfica 3.17. Ventas de refrigeradores domésticos por tamaño en México  
(Fuente: Elaboración propia con datos de OCDE. (2010), ILO, (1998) y OIEA, (1999))

Se pensaría que las ventas fueran aumentando al ritmo del crecimiento de las viviendas, pero no es así, ya que el mercado se rige por otros aspectos ya mencionados, por lo que es importante recalcar que existe un faltante de refrigeradores que también se tiene que cubrir, y por ello la necesidad de un mayor número de aparatos producidos y vendidos; junto con un programa de apoyo económico para efectuar su adquisición

Además, las ventas de los refrigeradores pequeños son casi 80% mayores que la de los grandes, lo cual indica que las familias mexicanas tienden a adquirir equipos de tamaños pequeños, ya sea por ahorrar energía, o por la falta de dinero para cubrir esa necesidad con un tamaño más grande. Por ello la importancia de integrar esta información, que tiene el propósito de ubicar los parámetros importantes para el desarrollo social del país.

Hasta este momento se ha descrito de forma concreta la forma de integrar cada uno de los escenarios bases que componen las categorías económica, ambiental, social y de salud, junto con sus comportamientos a través del tiempo. Lo que corresponde ahora es definir el escenario base para la categoría tecnología, donde se efectuó una serie de pruebas experimentales basadas en una metodología ya desarrollada<sup>60</sup>, pero ahora con la variable de las temperaturas por región, con el fin de establecer el posible consumo de energía del parque de refrigeradores domésticos e identificar los factores “tecnológicos” que lo afectan de manera directa. Dicha metodología y resultados se describen a continuación.

### **3.8. Consumo de energía del parque de refrigeradores domésticos**

Como parte de la investigación y el desarrollo de los escenarios base se efectuó el cálculo del consumo de energía del parque de refrigeradores domésticos. Para ello se conto con una muestra de refrigeradores, los cuales se sometieron a una serie de pruebas de eficiencia energética dentro del Laboratorio de Ambiente Controlado<sup>61</sup>, encontrando las curvas características de su consumo de energía relacionadas con los parámetros de funcionamiento que lo afecta de forma directa; y con ello se establecieron las bases para poder extrapolar la información a todo el parque.

Para llevar a cabo la realización de las pruebas experimentales de este trabajo se requería la simulación en laboratorio de las condiciones climáticas reales por región, es decir, de temperatura. Por lo que se tuvo la facilidad de utilizar las instalaciones de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) campus Iztapalapa; las cuales se caracterizan por tener cámaras climáticas y equipamiento de registros térmicos.

Dichas cámaras climáticas son capaces de ser programadas para reproducir las condiciones ambientales específicas con base en la metodología que se desee emplear, tanto para temperatura como humedad relativa. Para la obtención de los perfiles térmicos de los refrigeradores estudiados se utilizaron sondas termopares conectadas a los sistemas de adquisición de datos térmicos del LAC y fueron embebidas en éstos. Por otro lado, en todas las ocasiones una sonda registró la temperatura ambiente en el interior de la cámara climática.

#### **3.8.1. Simulación de las condiciones climáticas**

Las pruebas de laboratorio son habitualmente realizadas a temperaturas controladas normalmente constantes (isotérmicas) de alrededor de 32.2 °C, como lo marca la Norma Oficial<sup>62</sup>, por lo anterior, mucha de la información básica obtenida acerca de las condiciones de operación de los refrigeradores domésticos está basada en esa temperatura. Sin embargo, en la práctica el funcionamiento de los equipos de refrigeración se encuentra en un amplio rango de temperaturas no isotérmicas y de

---

<sup>60</sup> Arroyo, F. (2004). *Op. Cit.*

<sup>61</sup> Arroyo, F. (2009). *Op. Cit.*

<sup>62</sup> Normas Oficial Mexicana, (2002). *Op. Cit.*

igual forma permanece en funcionamiento a temperaturas variables. Debido a esto, en este estudio se ha planteado la necesidad de conocer el comportamiento de los refrigeradores en condiciones de primavera, verano, otoño e invierno, y asimismo tener una temperatura intermedia de referencia que en este caso se ha elegido de 32.2 °C (constante) para comparar los valores y observar su variación y dispersión en función de esta temperatura de referencia o control.

Dado que para todas las pruebas realizadas se ha planteado simular condiciones reales climáticas se han tomado como referencia los registros de temperaturas aportados por el Sistema Meteorológico Nacional (SMN)<sup>63</sup> Se ha seleccionado el SMN debido a que es la instancia que cuenta con la mayor información por estado y regiones del país, además de la facilidad que hay para obtener la información. A continuación se presentan las temperaturas promedio para las regiones planteadas en el estudio. (Tabla 3.2).

**Tabla 2.2. Temperaturas promedio por región**

Máxima °C (2008)				
Región	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Noreste	25.0	32.9	30.3	25.2
Noroeste	25.1	32.6	34.2	28.7
Centro-Occidente	28.2	32.2	27.8	27.0
Centro	24.7	27.6	24.0	23.1
Sur-Sureste	30.1	33.0	31.9	28.8
Mínima (2008)				
Región	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Noreste	6.9	16.5	18.3	9.2
Noroeste	8.1	15.5	21.6	13.8
Centro-Occidente	8.7	15.5	16.2	10.3
Centro	7.2	11.9	12.3	7.1
Sur-Sureste	17.4	20.6	21.4	17.2

Fuente: Elaboración propia con datos del SNM

Este conjunto de temperaturas corresponde a días de máximas y mínimas temperaturas. Para ello se ha hecho un análisis histórico de las temperaturas registradas en los últimos años, habiéndose concluido que los registros que mejor se adaptaban al estudio son los correspondientes al 2008. Lo que sigue ahora es extrapolar este conjunto de temperaturas a las condiciones climáticas que se pueden presentar en las viviendas de todas las regiones del país, para ello se tomo como base

<sup>63</sup> Sistema Meteorológico Nacional. (2008). Reportes temperaturas por Estado (2005-2009).

un conjunto de estudios relacionados con el diseño bioclimático de las viviendas<sup>64</sup>, dando como resultado una buena aproximación a las condiciones de operación de los refrigeradores por hogar de cada región establecida. En la tabla 3.3 se muestran los registros de temperaturas para ambiente de primavera, verano, otoño e invierno en función de las condiciones de la vivienda.

**Tabla 3.3. Temperaturas medias para interiores de viviendas (°C)**

Región	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Noreste	17.9	26.8	26.6	19.4
Noroeste	18.8	26.4	30.4	23.6
Centro-Occidente	20.4	25.8	24.2	20.8
Centro	17.6	21.4	20.1	16.9
Sur-Sureste	25.0	28.2	28.4	24.5

Fuente: Elaboración propia con datos e información del SMN y Guía CONAFOVI

En esta tabla se puede observar que la mayor parte del año se tienen temperaturas dentro del rango de comodidad<sup>65</sup>, y solamente en un pequeño período, de fines del invierno a principios de primavera, se tienen unos pocos días en los que las temperaturas están por fuera de la comodidad en el rango superior, y durante todo el año en la noche y la madrugada se tienen temperaturas por abajo de la de comodidad. La situación de las variables climáticas para el estudio se puede empezar a establecer a partir de la información descrita en la tabla 3.3 de acuerdo a las actividades de los usuarios y los requerimientos y condiciones específicas de la vivienda.

Con las temperaturas medias de las viviendas por región del país establecidas, se puede aplicar una serie de experimentos a los refrigeradores tomando como referencia esos rangos de operación, y con ello estimar el consumo de energía del parque de refrigeradores domésticos en función del tamaño de los equipos y de la antigüedad de los mismos, ya que esa información no se encuentra en la literatura.

### **3.8.2. Desarrollo experimental y evaluación del consumo de energía**

Como parte del estudio de la influencia que tienen las temperaturas ambientales sobre los refrigeradores domésticos, se determinó el consumo de energía con una de las variables a estudiar. Las pruebas se realizaron con base en la metodología establecida en la norma vigente, considerando el cálculo del volumen ajustado, colocación del refrigerador en una plataforma sólida con salientes de 30,5 cm al frente y a los lados, colocación de sensores de temperatura al interior del refrigerador. En algunos casos la

<sup>64</sup> Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda (2007). Guía para el uso eficiente de la energía en la vivienda. Guía CONAFOVI. México, D.F, 2006.

<sup>65</sup> Morales, J. (2002). Análisis de los requerimientos de enfriamiento en la vivienda. Centro de Investigaciones y Estudios de Posgrado. Facultad de Arquitectura. Universidad Nacional Autónoma de México.

norma indica que la prueba en el congelador se debe agregar una carga simulada, la cual consiste en paquetes sellados con aserrín de madera dura humedecida con agua.

En la secuencia de pruebas, primero se colocan los controles de temperatura de los compartimentos en su posición media; es decir, entre la posición más caliente y más fría del control de temperatura. En la segunda parte los controles de los compartimentos se colocan en su posición más fría o más caliente, según corresponda para obtener una lectura de temperatura mayor y otra menor que la temperatura de referencia normalizada de acuerdo con el tipo de refrigerador<sup>66</sup>.

Los cálculos del consumo de energía de los refrigeradores, consumo de energía promedio de un ciclo, consumo de energía anual, factor de ajuste y volumen ajustado, así como de los límites de consumo de energía máximos para refrigeradores y congeladores, se realizaron por medio de las ecuaciones descritas en la Norma Oficial Mexicana. La muestra de refrigeradores se conformó por 5 modelos, identificando las características particulares de cada uno, con la finalidad de seleccionar la metodología adecuada para determinar su consumo energético (Tabla 3.4).

**Tabla 3.4. Características de los refrigeradores probados**

Marca	Deshielo	Tipo	Año	Tensión Nominal	Corriente Nominal	Tamaño (ft <sup>3</sup> )	Refrigerante
ACROS	Semi-Automático	Refrigerador Congelador	1990	127 V ± 10 V	2.2 A	9	R-12 (120g)
BENDIX	Semi-Automático	Refrigerador Convencional	1970	127 V ± 10 V	2.7 A	14	R-12 (240g)
ESTATE WHIRLPOOL	Automático	Refrigerador Congelador	1995	127 V ± 10 V	3.2 A	21	R-134a (215g)
WHIRLPOOL	Automático	Refrigerador Congelador	1997	127 V ± 10 V	2.5 A	14	R 134a (165g)
LG	Automático	Refrigerador Congelador	2007	127 V ± 10 V	2.1 A	10	R134a(145g)

Fuente: Elaboración propia con información de los fabricantes

Además para garantizar que las pruebas efectuadas de eficiencia energética a los refrigeradores domésticos sean confiables, se verifican las condiciones del cuarto de prueba para comprobar que están dentro de las especificaciones de la Norma:

- Promedio de temperatura ambiente durante el transcurso de la prueba: 32.2°C.

<sup>66</sup> Arroyo, F, Ambriz, J. Aguillón, J y Canizal, J. (2009). *Op. Cit.*

- Gradiente vertical de temperatura:  $0.88^{\circ}\text{C}$  por metro.
- Circulación del aire:  $0.11\text{ m/s}$ .
- Promedio de alimentación eléctrica:  $128.63\text{ V}$ .

Cumpliendo los puntos anteriores se calculó el consumo de energía eléctrica de los refrigeradores domésticos para diferentes temperaturas de operación (Gráfica 3.18); esto con el propósito de tener un panorama más amplio del comportamiento de los equipos cuando operan a diferentes temperaturas, además de que así se podrá extrapolar la información experimental a todos los refrigeradores que componen el total de la muestra.

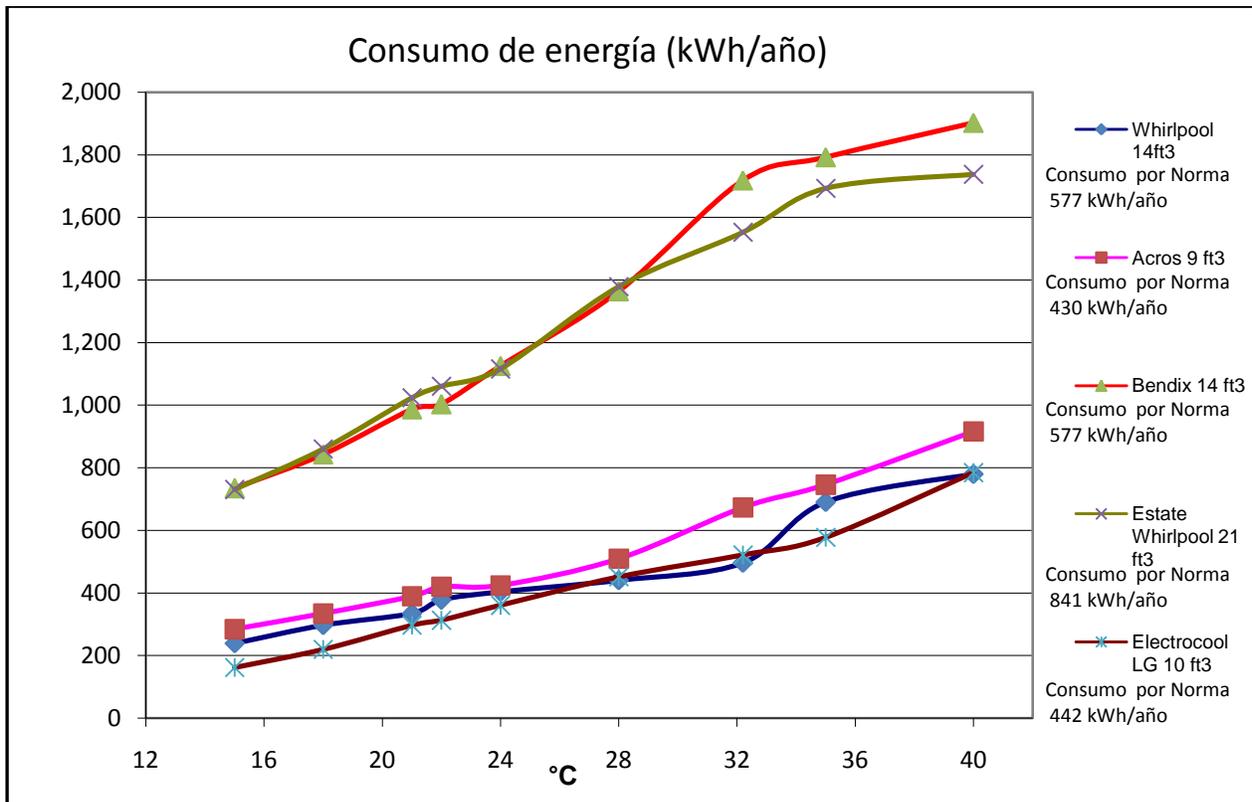
Debido a que la mayoría de los refrigeradores que se evaluaron en el LAC, se fabricaron antes de 1997, se encontró que sus consumos de energía son bastante mayores. Esto nos da un parámetro experimental para sustentar el planteamiento de una política de sustitución de refrigeradores domésticos antiguos. Además, al comparar el consumo de energía experimental que presenta cada refrigerador, se encontró que hay un consumo mayor de energía, el cual depende del año de fabricación del mismo.

De la gráfica 3.18 se observa que el consumo de energía del conjunto de refrigeradores sometidos a las pruebas, presentan un incremento gradual desde  $15$  a  $25^{\circ}\text{C}$ , posteriormente se presenta un aumento considerable hasta llegar a los  $35^{\circ}\text{C}$  y de ahí en adelante hasta donde llegaron los experimentos se tuvo un incremento más grande. Por ello es importante ubicar las temperaturas de las viviendas y cotejarlas con las de los equipos cuando presentan mayores consumos energéticos. Además de la misma gráfica se observa que tanto los equipos de gran tamaño, como los más antiguos son los que tienen a consumir mayor cantidad de energía, en función de la temperatura a la cual se encuentren trabajando; mientras que los aparatos más pequeños o con poco tiempo trabajando todo lo contrario.

Por otra parte, el consumo de energía de los modelos comprendidos entre 9 y 11 pies cúbicos es bastante semejante, del orden de  $433\text{ kWh/año}$ , aunque con sus variaciones cuando trabajan a mayores temperaturas. Los modelos grandes englobados entre 20 y 25 pies cúbicos presentan un consumo promedio de energía de más de  $1,000\text{ kWh/año}$ , lo que significa que la mayor parte de éstos consumen una proporción de energía bastante considerable, aunque como se analizó anteriormente la población no muestra interés por este tipo de refrigeradores; ya sea por el precio que es demasiado elevado o porque sobrepasa las necesidades de conservación de alimentos de una vivienda común.

Con la información obtenida por medio de las pruebas experimentales, se procedió a extrapolar los resultados para todo el parque de refrigeradores domésticos, la cual se realizó empleando modelación matemática, con aplicaciones de regresiones lineales en base a las variaciones de temperatura, tamaño del refrigerador y año de fabricación del

mismo<sup>67</sup>; y finalmente se estimó un consumo energético para el total de los aparatos electrodomésticos.

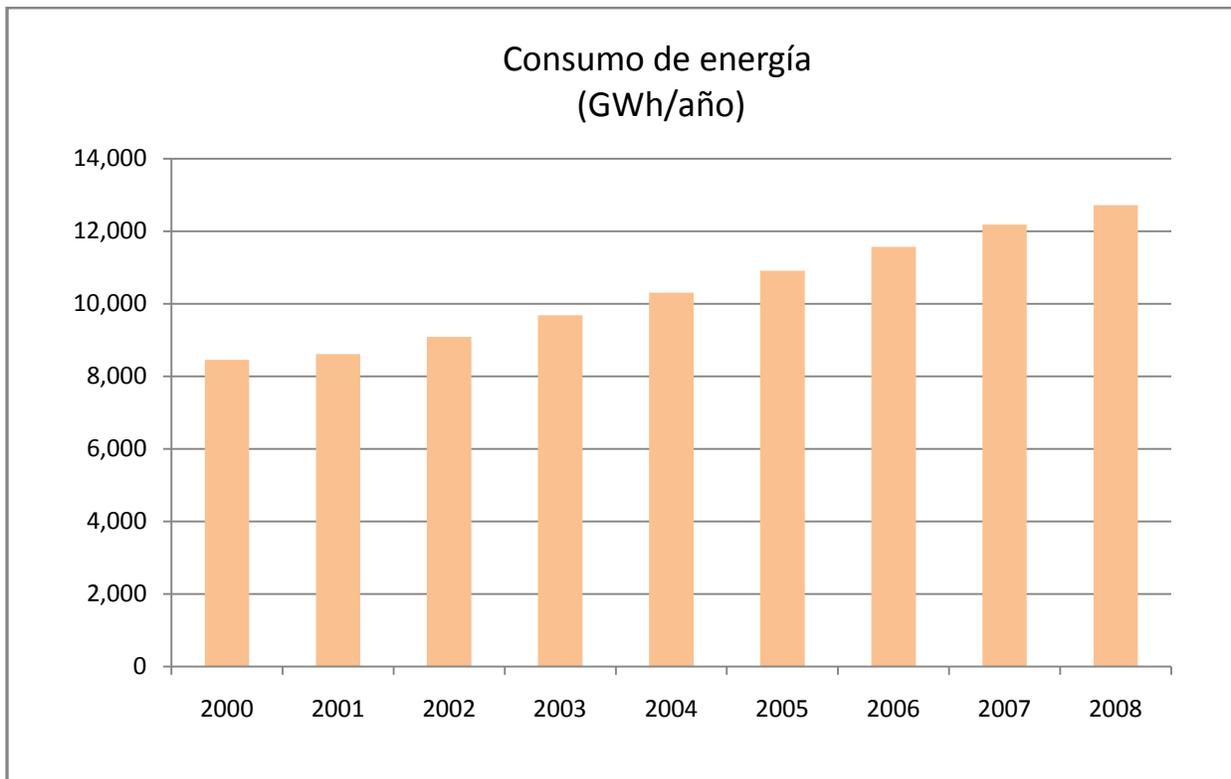


Gráfica 2.18. Consumo de energía de los refrigeradores probados en laboratorio  
Fuente: Elaboración propia

Para realizar dicha estimación inicialmente se partió de una distribución por edades y tamaños de los refrigeradores domesticas anteriormente utilizada<sup>68</sup>. Posteriormente, se estimaron los consumos de energía en función de las temperaturas experimentales a las cuales se encontraban operando, para ello se utilizaron los resultados de los ensayos desarrollados en el LAC. Sabiendo cuanto podrían consumir en promedio los refrigeradores en función de su tamaño, antigüedad y temperatura de operación, se procedió a dividir el parque de refrigeradores domésticos en esos términos, y luego agruparlos de acuerdo a la región que les corresponda. Con estas consideraciones se estimó el consumo anual de energía eléctrica del parque de refrigeradores domésticos por región y el total nacional en México, el cual se muestra en la gráfica 3.19.

<sup>67</sup> Thomopoulos, Nick, (1980). Applied forecasting methods. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliff, N.J. pp. 74-92.

<sup>68</sup> Arroyo, F. (2004). *Op. Cit.*



Gráfica 3.19. Consumo de energía del parque de refrigeradores domésticos en México  
Fuente: Elaboración propia con información y datos de Arroyo (2004)

De la gráfica 3.19 se puede observar que la refrigeración doméstica nacional represento en 2008 un total de 12.3 TWh/año de energía eléctrica. Esta cantidad es más de 18 veces el consumo de energía eléctrica en los hogares de los estados de Tlaxcala y Durango en ese mismo año. Además, la evolución en el consumo de energía a partir del año 2000 hasta la fecha ha tenido un ritmo en el crecimiento entre 30 y 35% promedio, con lo que se presume que existe un nicho importante para desarrollar políticas energéticas vinculadas con el ahorro de energía; esto se podría basar en un mecanismo que permitiese la substitución de todos los refrigeradores anteriores al 2000 y suponiendo que se conserva el mismo número de unidades, el consumo total de energía eléctrica por concepto de refrigeración doméstica se reduciría en casi 4 TWh/año, es decir, poco menos del 30% menor al actual. Esta cifra permitiría liberar una capacidad eléctrica equivalente a 900 MWe si se considera un uso diario de 14 horas.

Evidentemente, un programa más realista se orientaría a la renovación de los refrigeradores en un periodo más amplio, así, por ejemplo, si se considera un periodo de 5 años; el potencial de ahorro de energía eléctrica sería de poco menos de 1 TWh/año y una capacidad de 180 MW, lo que es muy interesante para el país y para beneficio de las economías familiares. Con la integración del consumo de energía del parque de refrigeradores domésticos, se puede proceder a describir los

comportamientos que éste presenta en la categoría tecnológica, por medio del escenario base correspondiente.

### 3.9. Escenario base categoría Tecnológica

En México, la refrigeración es responsable de alrededor del 29% del consumo de electricidad en los hogares asentados en clima templado y del 14 % en los de clima cálido en donde se usa aire acondicionado. Esta situación origina problemas graves y complejos para las familias mexicanas, al grado que es necesario subsidiar ampliamente las tarifas eléctricas domésticas. Desde 1997 se han implementado normas oficiales mexicanas de eficiencia energética de refrigeradores domésticos, que hacen que los equipos que se comercializan actualmente en el país sean 30% más eficientes que los vendidos anteriormente. No obstante, la tasa de reemplazo es lenta; y además el parque actual es de casi 25 millones de refrigeradores, por lo cual es que se llevarían muchos años al ritmo de ventas vigente de aproximadamente 1.6 millones de refrigeradores al año.

La categoría tecnológica evalúa la composición del parque actual de refrigeradores domésticos en el país y por estado, y posteriormente hace una estimación del consumo actual de energía eléctrica, por tamaño, región, época del año y eficiencia. Esto debido a que existe un potencial muy amplio, en relación con el ahorro de energía; ya que en trabajos de campo se han encontrado refrigeradores operando con edades de más de 30 años y aún 40.

Para integrar la composición del parque de refrigeradores domésticos se recurrió a información estadística de censos y conteos de población<sup>69</sup>, ventas, fabricación nacional e importaciones<sup>70</sup> y encuestas de ingreso gasto de los hogares<sup>71</sup>. Para la cuestión del consumo de energía, se desarrollaron una serie de pruebas experimentales descritas anteriormente y se extrapolo la información a todo el parque de refrigeradores domésticos. A continuación se presentan cada uno de los escenarios base que se obtuvieron junto con una breve reseña de su comportamiento.

#### 3.9.1. Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por región

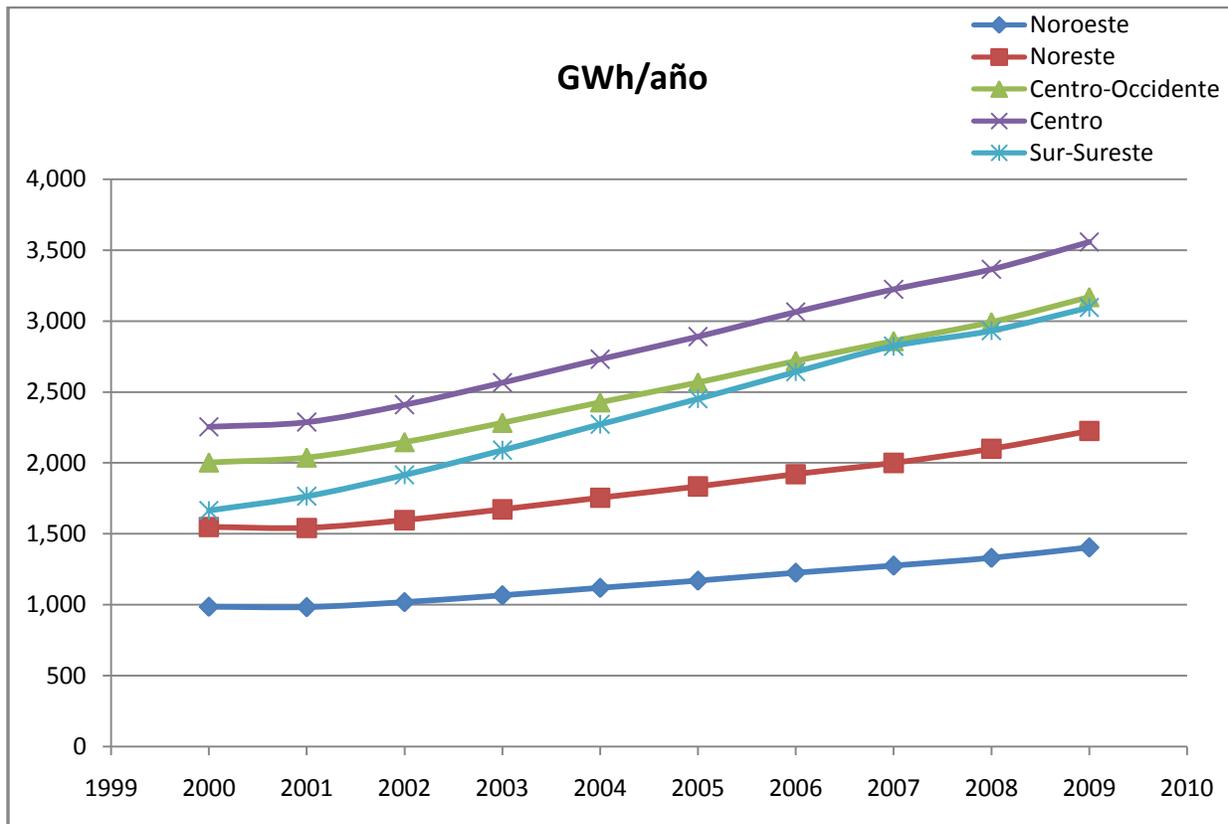
Como se observa en la gráfica 3.20 la tendencia de las 5 regiones es hacia el aumento en los consumos de energía por refrigeración doméstica; y la región Centro en comparación con las demás, presenta el mayor de éstos. Además, el comportamiento de las regiones Sur-Sureste y Centro-Occidente es muy semejante, lo cual se interpretaría como una diferencia entre los parque de refrigeradores que las componen en relación a la eficiencia energética, ya que la parte Occidente del país cuenta con un mayor número de aparatos en comparación con la región sur, pero ésta a su vez

<sup>69</sup> INEGI. (2000). *Op. Cit.*

<sup>70</sup> ANFAD (2000-2008). *Op. Cit.*

<sup>71</sup> INEGI (2005). *Op. Cit.*

presenta un gran aumento en el uso de energía con el paso del tiempo. Por otra parte, la región Centro en comparación con el Noroeste del país, consume del orden de más del 60% de energía, y si se agrega que agrupa la mayor cantidad de aparatos, de puede concluir que es un foco de alerta relacionado con el uso racional de energía en el sector residencial.



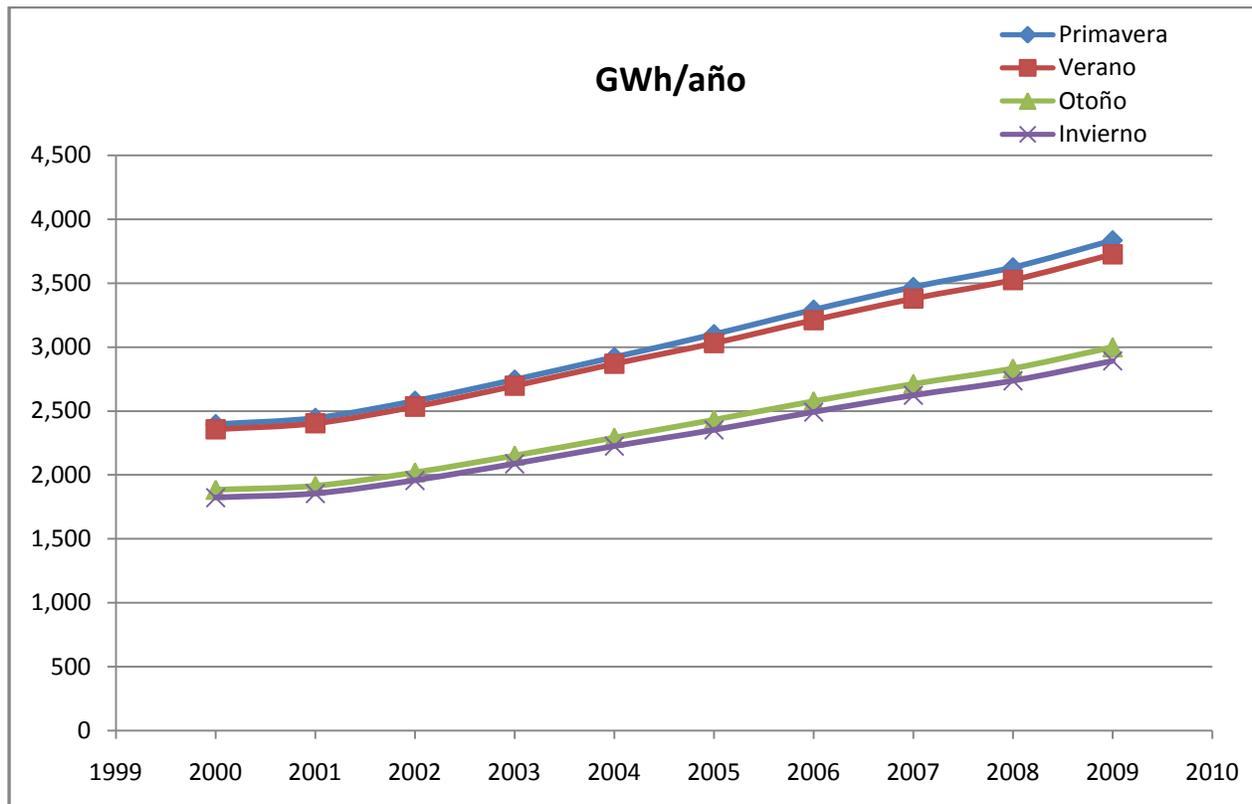
Gráfica 3.20. Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por región en México

Fuente: Elaboración propia con datos experimentales

El consumo de energía de la región Noroeste es bastante continuo, lo que representa que no existen cambios importantes en el parque de refrigeradores que componen esa región. Se desearía entonces que los consumos por región se mantuvieran constantes para las demás categorías con el paso del tiempo como en la zona Noroeste, y que solo fueran aumentando por el incremento de nuevos refrigeradores, los cuales tendrían que ser de alta eficiencia. Por otro lado, la evolución en el consumo de energía de todas las regiones está entre 15 y 20%, que se puede traducir en potencial de ahorro energético, si se llegaran a reducir tan solo en un 5% global, lo cual es una de las propuestas del presente trabajo de investigación.

### 3.9.2. Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por estación del año

El consumo de energía por cada estación del año presenta una tendencia de aumento con el paso del tiempo (Gráfica 3.21); aunque para la primavera y verano son muy semejantes así como también entre el otoño e invierno, lo cual se explica por las variaciones que existen en las temperaturas de operación a las que se encuentran sometidos los refrigeradores domésticos y que existen pocas perturbaciones por parte de la temperatura ambiente a la interna con la que operan los refrigeradores domésticos.



Gráfica 3.21. Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por estación del año en México

Fuente: Elaboración propia con datos experimentales

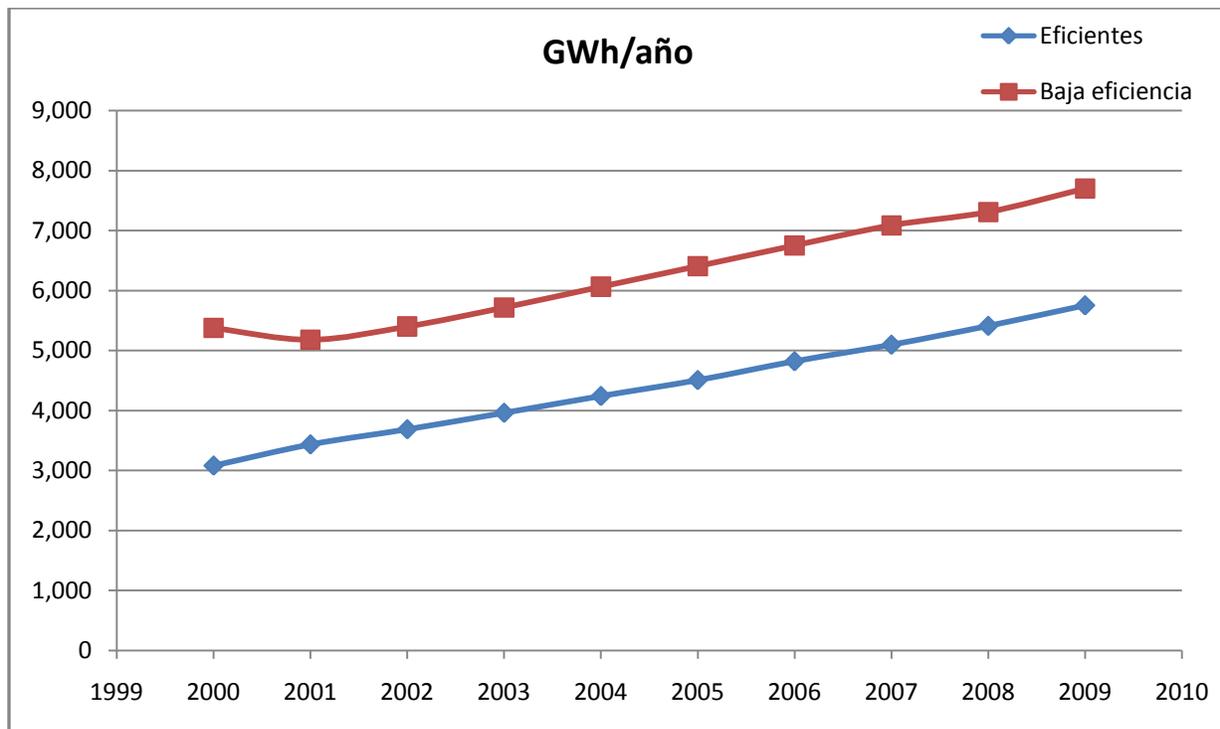
El consumo de energía tanto en primavera como en verano es de un 30% más que en otoño e invierno, por ello el potencial de ahorro de energía en esta situación sería en base a la construcción de viviendas con microclimas o diseños bioarquitectónicos<sup>72</sup> que permitan mantener los hogares a temperaturas adecuadas de operación para los refrigeradores y con ello ayudar a reducir los consumos energéticos y lograr que éstos sean bastante homogéneos en las 4 estaciones del año. En otro orden de ideas, es

<sup>72</sup> Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda (2007). *Op. Cit.*

interesante observa que las temperaturas relacionadas con las estaciones del año, aun cuando son bastante cambiantes, no afectan tanto el comportamiento de los refrigeradores domésticos, sino que es la construcción de la vivienda; entonces los esfuerzos por reducir los consumos se deben centrar en ese punto.

### 3.9.3. Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por eficiencia

De la gráfica 3.22 se percibe que los refrigeradores de baja eficiencia consumen aproximadamente 40% más energía que los eficientes, aunque cabe señalar que ambas tendencias se muestran a la alza con el paso del tiempo, esto es porque el parque normal de refrigeradores se comienza a saturar de refrigeradores ineficientes, mientras que las tasas de sustitución y ventas de aparatos nuevas son aun demasiado lentas. Además, los equipos de baja eficiencia entre el 2000 y 2001 iban en decremento en relación a sus consumos de energía, pero con la entrada en vigor de la norma 2002, la cual limitaba los consumos de energía máxima, se volvió a disparar el consumo de éstos, ya que los nuevos equipos eran más eficientes y los que ya estaban mantuvieron los mismos comportamientos



Gráfica 3.22. Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por eficiencia en México

Fuente: Elaboración propia con datos experimentales

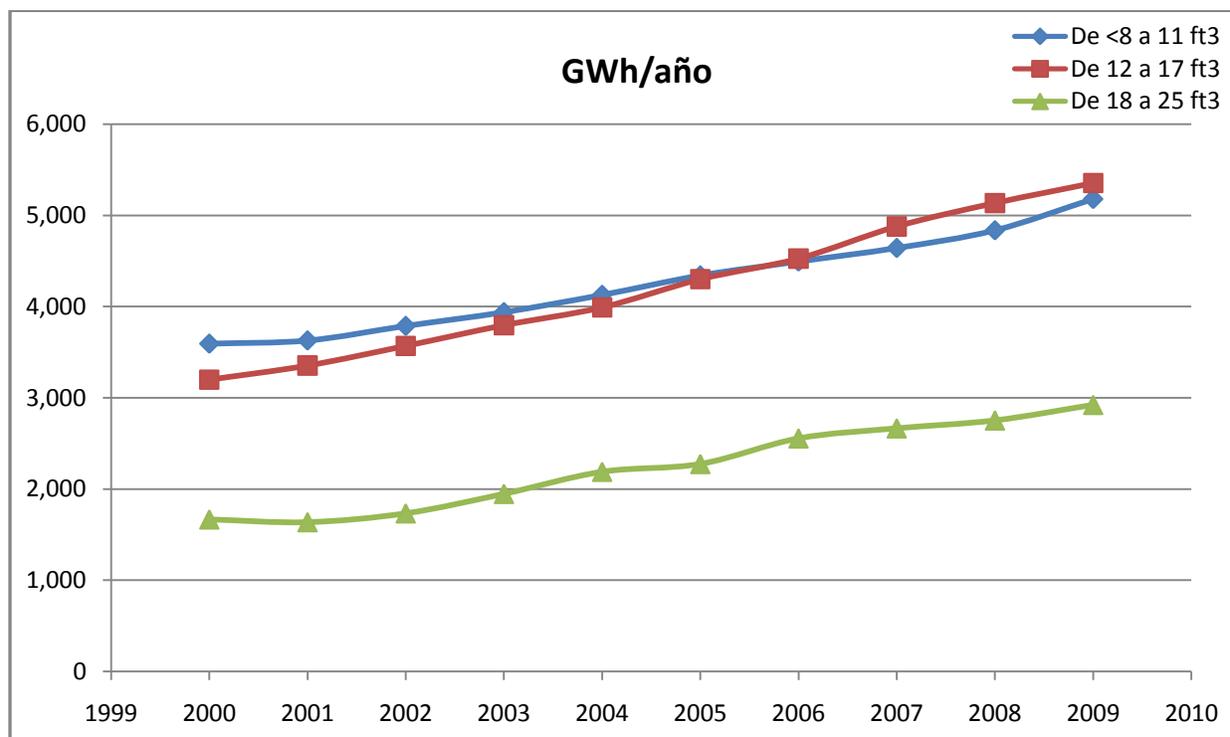
Por ello lo ideal sería que los consumos de energía del parque de refrigeradores eficientes sean igual a los ineficientes en una primera etapa; y después considerar a

todo el parque como eficientes. Además es importante el tratar de sustituir los refrigeradores de baja eficiencia en función de la demanda de viviendas y las regiones más representativas del país.

Por otra parte, el incremento en el consumo de energía tanto de los refrigeradores eficientes como los de baja eficiencia ha venido evolucionando a un ritmo entre 40 y 50%, lo que reafirma la teoría de que el total de aparatos que existen en el país, está comenzando a volverse viejo y la sustitución de éstos no es la adecuada.

### 3.9.4. Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por tamaño

El consumo de energía eléctrica de los refrigeradores pequeños como se muestra en la gráfica 3.23 fue mayor en comparación a los otros tamaños hasta el año 2005, posteriormente los equipos medianos pasaron a ser los que usan más energía; debido a que para ese periodo de tiempo, el parque que integra esa categoría aumento de forma importante; y aunado a eso, éstos aparatos consumen una cantidad de energía mayor. Por otra parte los refrigeradores grandes consumen menos cantidad de energía en forma global, los demás tamaños, por que son menos unidades en general, pero no quiere decir que por equipo tengan bajos consumos, al contrario son los que más consumen energía.



Gráfica 3.23. Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por tamaño en México

Fuente: Elaboración propia con datos experimentales

Hablando de comparaciones entre consumos de energía, de la misma gráfica 3.23 se observa que las tendencias de los tamaños pequeños y medianos serán bastante semejantes con el paso del tiempo, por lo que si se piensa en ahorros energéticos, éstos se tendrán que enfocar en la diversificación de cada uno de los grupos que conforman el parque de refrigeradores. Si la tendencia de los consumos de energía de los 3 tamaños se encuentra a la alza en función del tiempo, lo que sería lo mejor es que el dicho consumo se mantuviera constante; para solo crecer en relación con el aumento de la demanda de viviendas con servicio eléctrico; y no por la baja eficiencia del parque de refrigeradores que compone cada región.

El consumo del grupo de refrigeradores de tamaño grande, es menor casi en un 40%, que cualquiera de las otras dos categorías, y tiene un potencial de ahorro energético entre 8 y 10%, lo cual es bastante bueno, porque es un aporte, social, ambiental, tecnológico y económico para el país. Mientras que los otros 2 tamaños, juntos presentan alrededor de 25%. Aunque cabe mencionar que desde la perspectiva de esta parte del estudio, la evaluación del potencial de ahorro por refrigeración doméstica, es conservadora; ya que el potencial real pueden ser aún mayor<sup>73</sup>.

Con el desarrollo de los escenarios base, lo que corresponde ahora en el Capítulo IV es efectuar la validación de éstos, primeramente en un intervalo de tiempo de 2005 a 2008, y posteriormente de 2000 a 2008, a través de desarrollos matemáticos que de adecuen a los comportamientos de los indicadores complejos que generan las gráficas. Además se integran los indicadores macro ya desarrollados en función de un elemento de ponderación, que servirá mas adelante para definir el rumbo de la propuesta de una nueva política relacionada con los refrigeradores domésticos, tomando como base la pirámide de jerarquización de categorías de acuerdo con los elementos que la integran.

---

<sup>73</sup> Arroyo, C. F (2009). *Op. Cit.*

### 3.10. Resumen

En esta parte del trabajo de investigación se efectuó el estudio del parque de refrigeradores domésticos en México, donde se pudo aproximar el número de aparatos que existen en cada estado y a nivel nacional, además de identificar nichos de ahorro económico y energético importantes. Posteriormente se generó la división del parque en función de la región a la que pertenezcan, lo cual servirá al estudio para tener una mejor forma de interpretar parte de los resultados.

La forma de integrar el parque de refrigeradores domésticos se basó en la forma en como están constituidas las categorías económica, ambiental, social, tecnológico y de salud, por lo tanto es necesario tener un conjunto de datos para cada una de ellas. Este razonamiento dio lugar a un grupo especial información que se nombró como escenarios base, los cuáles conjuntan desde información muy básica como datos estadísticos hasta resultados experimentales y aproximaciones matemáticas. Esta información servirá para tener la facilidad de interpretar los comportamientos de los refrigeradores en un periodo de tiempo determinado.

Como parte de la integración de los escenarios base se efectuó el cálculo del consumo de energía del parque de refrigeradores domésticos. Para ello se conto con una muestra de éstos, los cuáles se sometieron a una serie de pruebas de eficiencia energética, y se encontraron sus curvas características de consumo de energía. Para llevar a cabo estas pruebas se empleó un laboratorio que simula las condiciones climáticas reales por región. Con la información obtenida a través de las pruebas, se procedió a extrapolar los resultados para todo el parque de refrigeradores domésticos, por medio de una modelación matemática y finalmente se estimó un consumo energético para el total de los aparatos electrodomésticos.

## Capítulo IV

### Estudio de Políticas Energéticas en México

#### 4.1. Introducción

Las políticas públicas son un factor clave para el desarrollo de México; además, es de suma importancia que consideren dentro de éstas el tema de la refrigeración doméstica, ya que se corre el riesgo de que en un futuro exista un desabasto de recursos energéticos en el sector residencial, y con ello propiciar incertidumbre y desestabilidad en el país; y que los inversionistas interesados en el tema se alejen de esta situación.

El objetivo de las políticas públicas es dar respuestas a las necesidades de ciertos sectores, tomando como base descripciones exhaustivas de las relaciones entre los factores que los afectan directamente. Aunque cabe señalar que no existe una metodología única para desarrollarlas, pues dependen de diversos factores por los cuáles el país este pasando, sin embargo el uso éstas puede ser para casi cualquier tema, incluyendo los más representativos como son el sector ambiental, la económica, los comportamientos sociales, conceptos tecnológicos o la salud de la población, entre otros.

En este capítulo se identifican un conjunto de políticas públicas que cumplan con los objetivos e inquietudes planteadas en este trabajo de investigación, considerando los principales factores internos y externos que afectan al consumo de energía de los refrigeradores domésticos. De igual forma se efectúa la integración de un elemento de ponderación que afecta a los indicadores Macro y, que servirá para situar los comportamientos de las categorías dentro de la pirámide de jerarquización. Además se identificarán cuales de las políticas públicas son más representativas para el estudio.

Aunado a lo anterior, los indicadores Macro se conjuntarán de tal suerte que la información que se obtenga de ellos estará acompañada de una tabla en donde se muestre la situación y tipo de indicador, nomenclatura asignada y sistema de unidades. Por otra parte, se hace la validación de los escenarios base, ya que son parte fundamental de la metodología que se desea llevar a cabo, y que tienen como fin aplicar una nueva política energética para los refrigeradores domésticos en México. Para efectuar la validación se propuso tomar intervalos de tiempo entre 2005-2008 y de 2000 a 2008.

Primeramente se tendrán que desarrollar las ecuaciones para cada uno de los comportamientos de los indicadores compuestos, que integran a cada indicador macro, y posteriormente se aproximarán las mismas con nuevos valores asignados por medio de un elemento de ponderación; y finalmente se someten a una regresión lineal múltiple con el objetivo de tener el valor más representativo para el estudio.

## 4.2. Políticas públicas en México

Un tema trascendental en el estudio del consumo de energía eléctrica del parque de refrigeradores en México son las políticas públicas que se relacionan con éste, las cuales se derivan de todo un conjunto a nivel nacional y abarcar desde su planteamiento, análisis, evaluación y su posterior implementación; o exclusión. Para el desarrollo de cualquier política en el medio energético es indispensable plantear objetivos realmente eficaces y que puedan englobar los problemas generales y específicos que se presentan, además de presentar soluciones bien fundamentadas.

Dentro del presente trabajo de investigación se seleccionaron una serie de políticas públicas<sup>74</sup> las cuales se pretende que en conjunto sirvan para analizar los factores que afectaron en cierto periodo de tiempo el consumo de energía de los refrigeradores; y más adelante poder identificar cuáles de éstas se pueden cambiar, mejorar, o en su defecto eliminar para llegar a estimar un potencial de ahorro de energía en el sector residencial del país. Las políticas públicas seleccionadas, se llamaran “Energéticas” y tienen la capacidad estratégica y de planeación de incluir las políticas públicas del país, y a su vez involucran a las categorías económica, social, ambiental, tecnológica y de salud anteriormente descritas. Por lo tanto estas políticas son una parte importante en el estudio. En la tabla 4.1 se presenta la selección que se efectuó de políticas públicas que aplican al estudio.

**Tabla 4.1. Políticas Públicas relacionadas con el consumo de energía del parque de refrigeradores domésticos en México**

Categoría	Política Pública
Económica	Desarrollo económico del país analizado por el Producto Interno Bruto (PIB)
	Desarrollo económico del país analizado por el Índice de Precios al Consumidor (IPC)
	Desarrollo económico del país analizado por el Índice Nacional de Precios al consumidor (INPC)
	Desarrollo económico del país analizado por el PIB PER CAPITA
	Crecimiento Económico
	Evolución del Crecimiento de Empleos y Salarios
	Generación de energía por Crudos Diversos
	Generación de energía por Gas Natural
Ambiental	Reducción de concentración de emisión de contaminantes
	Reducción de generación de desechos sólidos
	Manejo integral de desechos sólidos incluyendo el tratamiento y deposición final
	Reducción de riesgos ambientales causantes de daños a la salud
	Consumo de sustancias agotadoras de la capa de ozono
Social	Ordenamiento Territorial
	Viviendas con cobertura de energía eléctrica

<sup>74</sup> SEGOB, (2009). Informes de Gobierno. (2005 a 2008).

	Reducción de los niveles de pobreza
	Índice de Desarrollo Humano (IDH)
	Tasa de crecimiento de la población
Salud	Medidas para controlar y revertir la diseminación de enfermedades
	Productos de consumo frecuente
	Servicios de consumo no básico
	Nivel de salud de la población
Tecnológica	Uso de energía renovable del total energético
	Producción de energía más limpia
	Producción de bienes
	Inversión destinada a desarrollo de tecnología

Fuente: Elaboración propia con información y datos de SEGOB (2005 a 2008), SEGOB (2006-2012) y Díaz (2005)

Las políticas energéticas se pueden definir desde el punto de vista de toma de decisiones, las que afectan o se relacionan; y las que simplemente no aplican<sup>75</sup>. Siguiendo con esta línea, el estudio tiene la posibilidad de dar soluciones a los problemas que surgen en el sector residencial por el uso de refrigeradores domésticos, por lo tanto la formulación de estas políticas conduce a la elaboración de un producto de investigación, que se ajusta al periodo de tiempo en donde se efectúe el análisis. Aunque cabe señalar que no fue fácil seleccionar cada una de las políticas públicas contempladas ya que aun cuando todas pueden ser flexibles, no siempre aplican al consumo de energía por concepto de refrigeración doméstica, por lo que solo se emplearon las que más se relacionan con cada una de las categorías o según la situación que es presente en ese año.

Uno de los criterios que se utilizaron para seleccionar las políticas públicas descritas en la tabla 4.1, fue el hecho de que puede corregir una falla y con ello poder tomar una decisión a nivel gubernamental para satisfacer una demanda específica. Siendo esto así, la integración de las políticas se basó en un procedimiento de 4 pasos<sup>76</sup>:

- Percibir la problemática actual o futura.
- Seleccionar soluciones.
- Establecer objetivos o metas.
- Llevarla a cabo.

Para integrar el conjunto de políticas públicas al estudio, hay que establecer claramente a quien afectan, en donde se presentan y cuantas alteraciones que provocan. Para ello implica hacer un análisis de la relación que llegará a existir entre éstas y los aspectos

<sup>75</sup> SEGOB. (2008). Plan nacional de desarrollo, Gobierno Federal (2006-2012).

<sup>76</sup> Díaz Bautista Alejandro. (2005). La Necesidad de una Reforma Estructural y una Política Energética Integral en México para el Desarrollo del País. Observatorio de la Economía Latinoamericana. Revista académica de economía.

sociales, económicos, tecnológicos, de salud y ambientales que se han venido manejando. También hay que considerar los recursos con los que se cuenta.

La solución de los problemas puede tener diversas opciones, diversas formas y no solo una, por ello se debe considerar la mayor parte de las opciones y al ir las analizando descartar e ir seleccionando las más viables. Ahora bien, en la elaboración de las políticas intervienen tanto instituciones como individuos. Las instituciones son las que instrumentaran y crearan la estructura necesaria para llevar a cabo la implementación de las políticas. La proyección de resultados tiene que ser basada en la realidad en que se encuentra en determinado momento el país, ya que en ocasiones se llega a ser demasiado idealistas en los proyectos lo cual desvía de la objetividad que hay que tener, además existe la confrontación de los costos que van relacionados con los beneficios obtenidos.

Por lo tanto, el objetivo principal de las políticas públicas antes seleccionadas, es efectuar elecciones racionales, con base en los factores que afectan al estudio, y llevar a cabo una transición hacia la elaboración de una nueva política que ofrezcan los máximos beneficios. Para ello, también se pueden agregar políticas públicas que no se contemplaron anteriormente, pero existe el riesgo de que algunas sean acertadas y otras equivocadas, por lo que es necesario efectuar un análisis de adecuación de las mismas, esto con el fin de no caer en estimaciones que no aporten nada al estudio. Entonces, no solo se pueden agregar políticas públicas al estudio, sino también se pueden quitar.

Cuando una política pública que ya había sido contemplada con anterioridad no plasma los objetivos planteados al inicio del estudio, esta se puede desechar, aunque es necesario señalar que dicha política será descartada porque no cumple en alguno de los puntos, como el ser sensible a la problemática actual, que los objetivos planteados al inicio no sean los adecuados; o que simplemente para efectuarla se requiere una mayor inversión.

Con esta descripción de las políticas “energéticas” que cumplen con parte de los objetivos de la investigación, se puede establecer la propuesta de una nueva política energética que se relacione con el consumo de energía del parque de refrigeradores doméstica, la cual será la punta de la pirámide de jerarquización que contiene a las categorías que sustentan el estudio.

#### **4.3. Política energética para los refrigeradores domésticos en México**

Las prioridades establecidas por el estado mexicano en cuanto al fomento del desarrollo económico, llevaron a los precios de la energía por abajo de su costo real de producción que predominaron hasta finales de la década pasada. Esta situación, y el haber considerado por muchos años a los combustibles fósiles como un recurso casi ilimitado, llevó a la creación de una infraestructura de producción, transporte y uso final de energía con altos índices de consumo de energía por unidad de producto o servicio entregado.

Derivado de lo anterior, es importante considerar el potencial de ahorro de energía eléctrica en el sector residencial por refrigeración doméstica, que está determinado por la diferencia entre la eficiencia con la que actualmente operan los equipos y la que podrían alcanzar con el cambio de la mayoría de éstos (poco más de 10 millones de refrigeradores de baja eficiencia energética) por una nueva tecnología disponible en el mercado, en el momento del cambio.

Estudios anteriores permiten estimar un potencial de ahorro de energía eléctrica en refrigeración doméstica de 4.7 TWh/año<sup>77</sup>, lo que equivaldría al consumo en poco más de dos años del estado de Oaxaca. Estos ahorros se ven reflejados de forma directa en la facturación eléctrica; además de contribuir en la reducción de los impactos de contaminación ambiental, lo cual es positivo para todos los niveles de la población. Para que se pueda considerar como representativo este potencial de ahorro, en los sectores económico, social, ambiental, y de salud debe estar guiado hacia una política energética que pueda aplicarse en un lapso de tiempo razonable.

De acuerdo con lo antes expuesto, y tomando en cuenta los objetivos del presente trabajo de investigación, lo que corresponde es establecer una propuesta de política energética con la que se pudiera cumplir con lo antes descrito, la cuál estará fundamentada en las definiciones de las categorías descritas en el capítulo I, en donde se engloban todos los agentes que están involucrados con el consumo de energía de los refrigeradores domésticos. Las categorías a su vez están constituidas por los indicadores Macro, compuestos y simples, que se agruparon de acuerdo al Modelo PER, con la intención de poder dar una “Respuesta” a las “Presiones” y necesidades del sector residencial del país, con base en el “Estado que guarda actualmente el parque de refrigeradores en México. La propuesta general de política energética se expresa de la siguiente manera:

*“Estudio de la tasa de sustitución de refrigeradores domésticos por región para hacer más eficiente el consumo de energía eléctrica en el país”*

Dicha propuesta de política engloba desde el total del parque de refrigeradores domésticos, hasta el uso de éstos por región del país. Además considera el empleo de equipos eficientes de acuerdo con las necesidades de cada vivienda, Así como la sustitución acelerada del los equipos poco eficientes. Todo con el propósito de tener un uso eficiente de energía y poder estimar un potencial de ahorro de energía en el sector residencial. Para llevar a cabo esta política energética es necesario tener objetivos específicos claros, y así aportar una mejor información en el sentido de presentar los puntos estratégicos en donde se pueda comenzar a implementar la nueva política energética. A continuación se enuncian los objetivos específicos que cumplen con lo planteado.

---

<sup>77</sup> Arroyo, C. F. 2002. *Op. Cit.*

- Determinar el potencial de ahorro de energía por sustitución del parque de refrigeradores domésticos en México con base en la categoría tecnológica.
- Establecer las regiones del país a las cuáles se debe dar prioridad para efectuar una sustitución acelerada del parque de refrigeradores domésticos con el que cuente en ese momento.
- Formular y emitir las metodologías y procedimientos para cuantificar el consumo de energía por refrigeración doméstica.
- Identificar los obstáculos económicos que impiden que los usuarios de energía en el sector residencial opten por alternativas de mayor eficiencia energética en refrigeración doméstica.
- Determinar los factores sociales, ambientales y de salud que intervienen en el consumo de energía de los refrigeradores domésticos en México.

Para poner en marcha la propuesta y elaboración de la nueva política relacionada con la refrigeración doméstica; se tiene que hacer una agrupación de los indicadores complejos en un Macro para cada categoría, donde se tome en cuenta la dependencia que existe entre categorías; y con esto poder llevar a cabo la estructurar piramidal de jerarquización, y así cumplir con parte de los objetivos del presente estudio.

#### **4.4. Agrupación de los indicadores Macro por categoría**

Los indicadores macro agrupan todas las contribuciones de los conjuntos de indicadores complejos de acuerdo a la estructura piramidal que se ha venido desarrollando. Lo que corresponde ahora es integrar los aportes de los indicadores complejos de Presión, Estado y Respuesta en una sola expresión que generalice los comportamientos de variables involucradas y que será la base del indicador Macro.

Para efectuar la agrupación se tomo como referencia la forma de hacerlo de Ribeiro (2006), en donde éstos se integran como una suma de contribuciones, todas con las mismas unidades; con la salvedad de que para efectos del presente trabajo de investigación se agregará un término de ponderación “Beta” ( $\beta$ ) con el propósito de darle valores específicos a las contribuciones de cada indicador complejo, según el periodo de tiempo que se quiera estudiar; el cual se analizará a detalle en el capítulo 5.

##### **4.4.1. Agrupación de indicadores complejos categoría Económica**

En la categoría económica se consideró generar el indicador macro “Costo Anual de Energía”, ya que mide el nivel de utilización de la energía en el ámbito económico y refleja las pautas del uso de la energía y la intensidad energética agregada del país. La energía es un factor esencial en el desarrollo económico y en el suministro de servicios vitales que mejoran la calidad de vida, por ello el objetivo de este indicador es identificar

que factores afectan al ritmo de desarrollo económico en relación con el consumo de energía por concepto de refrigeración, además de contemplar el posible aumento de la eficiencia energética vinculada con inversiones económicas, así con la transición hacia opciones de generación más limpias y de bajo costo (Tabla 4.1).

**Tabla 4.1. Agrupación de indicadores complejos categoría económica**

Indicador Macro	Indicador Compuesto	Nomenclatura	Unidades
Costo Anual de Energía (CAE)	Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por región	CAEPR1	\$/año
	Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por estación del año	CAEPR2	\$/año
	Costo promedio de los refrigeradores por tamaño	CPR1	\$/año
	Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por eficiencia	CAEPR3	\$/año
Ecuación	$I_{CAE} = (CAEPR1) * \beta_{eco1} + (CAEPR2) * \beta_{eco2} + (CPR1) * \beta_{eco3} + (CAEPR3) * \beta_{eco4}$		

Fuente: Elaboración propia con información de Ribeiro (2006)

Este indicador macro se encuentra relacionado con el concepto de ahorro monetario, ya que de manera implícita se consideran los potenciales de ahorro económico de energía por sustitución de refrigeradores domésticos. Este tipo de indicadores emplean el concepto de ahorro conocido como ahorro genuino, el cual mide la tasa real de ahorro del sector económico. El propósito del presente indicador Macro es medir cuanto se puede ahorrar, en cuestión de costos por generar energía para el uso de refrigeradores domésticos en el país, e identificar cuál es la tasa óptima de ahorro si las políticas realizadas son las más adecuadas para llevarse a cabo, junto con lo que resulte de las mismas.

#### 4.4.2. Agrupación de indicadores complejos categoría Ambiental

Por parte de la categoría ambiental se construyo el indicador macro “Toneladas Equivalentes de CO<sub>2</sub>”, ya que considera las emisiones totales y por unidad de un gas importante para el trabajo de investigación (el CO<sub>2</sub>)<sup>78</sup>, procedente del consumo de energía del parque de refrigeradores domésticos, el cual tiene un impacto directo sobre la generación del CO<sub>2</sub> que se emite a la atmósfera. Además se miden los desechos sólidos generados por la sustitución de equipos de refrigeración con mayor tiempo de funcionamiento (Tabla 4.2).

<sup>78</sup> UNSD (2003). *Op. Cit.*

**Tabla 4.2. Agrupación de indicadores complejos categoría Ambiental**

Indicador Macro	Indicador Compuesto	Nomenclatura	Unidades
Toneladas equivalentes de CO <sub>2</sub> (TEQ)	Emisiones de CO <sub>2</sub> por refrigeración doméstica por región	ECOR1	Ton de CO <sub>2</sub> equiv/año
	Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por región	GDSSR1	Ton de CO <sub>2</sub> equiv/año
	Emisiones de CO <sub>2</sub> por refrigeración doméstica por estación del año	ECOR2	Ton de CO <sub>2</sub> equiv/año
	Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por estación del año	GDSSR2	Ton de CO <sub>2</sub> equiv/año
	Emisiones de CO <sub>2</sub> por refrigeración doméstica por tamaño	ECOR3	Ton de CO <sub>2</sub> equiv/año
	Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por tamaño	GDSSR3	Ton de CO <sub>2</sub> equiv/año
Ecuación	$I_{TEQ} = (ECOR1) * \beta_{amb1} + (GDSSR1) * \beta_{amb2} + (ECOR2) * \beta_{amb3} + (GDSSR2) * \beta_{amb4} + (ECOR3) * \beta_{amb5} + (GDSSR3) * \beta_{amb6}$		

Fuente: Elaboración propia con información de Ribeiro (2006)

Además, este indicador organiza y agrupa los datos ambientales relacionados con los desechos hacia el medio ambiente por la sustitución de refrigeradores, ya sea por cambio voluntario o porque dejan de funcionar. De igual forma identifica el potencial de emisiones de gases que se pueden evitar, si se efectúa una sustitución del parque de refrigeradores domésticos; y considera la implementación de un programa de reciclaje de desechos sólidos concebidos por el cambio de aparato en el hogar, ya sea por región o por país.

Este indicador macro constituye una información relevante, ya que a partir de él se puede diseñar un conjunto de políticas energéticas enfocadas a la reducción de CO<sub>2</sub> y de manejo de desechos sólidos. Además se pueden establecer valores de referencia para años futuros e identificar las mayores y menores emisiones de gases a la atmósfera.

#### 4.4.3. Agrupación de indicadores complejos categoría Social

Para esta categoría se desarrollo el indicador macro “Viviendas Sector Residencial”, el cual contempla los progresos en la parte de accesibilidad a los servicios de energía eléctrica, y al poder adquirir refrigeradores domésticos. Además este indicador se formo a partir de variables como la longevidad, la alfabetización y el nivel de vida. Para este caso se pretende efectuar la medición del desarrollo humano, en relación con el uso de

los refrigeradores domésticos, entendiéndolo por éste un desarrollo de carácter multidimensional, donde los aspectos económicos, ambientales y social son importantes pero no suficientes, es decir, que se tiene que crecer económicamente, pero también relacionar todos los tópicos que tengan una relación directa (Tabla 4.3).

**Tabla 4.3. Agrupación de indicadores complejos categoría Social**

Indicador Macro	Indicador Compuesto	Nomenclatura	Unidades
Viviendas Sector Residencial (VSR)	Total de viviendas con servicio eléctrico por región	TVSE1	Viviendas /año
	Total de viviendas con electricidad sin refrigerador por región	TVESR1	Viviendas /año
	Total de viviendas con servicio eléctrico con refrigerador por tamaño	TVSE2	Viviendas /año
Ecuación	$I_{VSR} = (TVSE1) * \beta_{soc1} + (TVESR1) * \beta_{soc2} + (TVSE2) * \beta_{soc3}$		

Fuente: Elaboración propia con información de Ribeiro (2006)

Por otra parte, este indicador no solo contempla los problemas sociales del país relacionados con el uso de refrigeradores, sino también involucra los índices de desarrollo humano y el medio ambiente. Estos tres aspectos están a su vez vinculados mediante indicadores sociales tales como la tasa de analfabetismo, el porcentaje de viviendas que cuentan con electricidad en sus hogares, el porcentaje de personas sin agua potable y sin servicios de salud; y el número total de viviendas en México. Se puede establecer una política energética en proporción con el ritmo de crecimiento al que debe ir evolucionando la producción de refrigeradores domésticos. La precisión de los datos referentes a este indicador macro puede variar según el periodo de tiempo en donde se efectúe el análisis y las estimaciones utilizadas. Aunque cabe señalar que existe el inconveniente de que algunos de ellos todavía no tienen un gran desarrollo y su cuota de aportación es bastante baja, pero no por ello se limita la posibilidad de determinar algunas tendencias que pueden ser significativas para el estudio.

#### 4.4.4. Agrupación de indicadores complejos categoría Salud

En la categoría de salud se integró el indicador macro “Defunciones por Infecciones Estomacales”, el cual se enfoca en medir la relación que existe entre las defunciones que se presentan por infecciones estomacales y la falta de un refrigerador en la vivienda. Además de mencionar que aun cuando este indicador no parece ser tan trascendental en el estudio, no se puede dejar de lado, ya que en un futuro puede existir la posibilidad de alguna situación que involucre la conservación de alimentos por periodos de tiempo bastante largo o integrar algunos otros factores sociales de gran relevancia (Tabla 4.4).

**Tabla 4.4. Agrupación de indicadores complejos categoría Salud**

Indicador Macro	Indicador Compuesto	Nomenclatura	Unidades
Defunciones por infecciones estomacales (DIE)	Defunciones por enfermedades estomacales por vivienda con refrigerador por región	DEEVR1	Def. por Refrigerador/año
	Ventas de refrigeradores domésticos por región	VRD1	Refrigeradores/año
	Ventas de refrigeradores domésticos por tamaño	VRDT1	Refrigeradores/año
Ecuación	$I_{DIE} = (DEEVR1) * \beta_{sal1} + (VRD1) * \beta_{sal2} + (VRDT1) * \beta_{sal3}$		

Fuente: Elaboración propia con información de Ribeiro (2006)

También se considera el complemento en el parque de refrigeradores domésticos, en relación al número de viviendas que no poseen refrigerador pero que si cuentan con el suministro de energía eléctrica para poder operarlo. Junto con las ventas de los aparatos; para poder evaluar la posibilidad de completar el faltante de éstos en los hogares, tanto por país como por región que se pretende analizar

En esta categoría, el uso de la energía apoya a la salud humana, además de promoverla, gracias a la mejora de las condiciones de vida. No obstante, la producción y uso de la energía conlleva la posibilidad de provocar daños o enfermedades, puesto que favorece a la contaminación y al aumento de las enfermedades, por ello el objetivo de reducir o eliminar esos impactos negativos; como por ejemplo el número de víctimas imputable a la utilización de energía en los hogares para electrodomésticos es bastante bajo.

#### 4.4.5. Agrupación de indicadores complejos categoría Tecnológica

El indicador macro generado es “Consumo de Energía de los Refrigeradores” que mide el total de energía usada por el parque de refrigeradores domésticos, lo cual es importante debido a que se liga directamente con el desarrollo de una propuesta de política energética para disminuir dicho consumo considerando no solo los aspectos relacionados con la tecnología, sino también los factores sociales, ambientales, económicos y de salud.

Actualmente el rápido crecimiento del sector residencial y la tendencia a utilizar la energía con una menor eficiencia energética, estimulan los cambios en la estructura del uso final de energía (Tabla 4.5). También el incremento de la población ha favorecido la necesidad de cubrir ciertas carencias, como el tener aparatos electrodomésticos. Una forma de reducir estas presiones que actúan sobre el parque de refrigeradores domésticos es utilizar menos energía, lo cual puede lograrse reduciendo la demanda de

actividades que necesitan energía, o utilizando la energía de modo más eficiente, o bien combinando ambas cosas.

**Tabla 4.5. Agrupación de indicadores complejos categoría Tecnológica**

Indicador Macro	Indicador Compuesto	Nomenclatura	Unidades
Consumo de Energía de los Refrigeradores (CER)	Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por región	CTEPR1	GWh/año
	Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por estación del año	CTEPR2	GWh/año
	Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por eficiencia	CTEPR3	GWh/año
	Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por tamaño	CTEPR4	GWh/año
Ecuación	$I_{CER} = (CTEPR1) * \beta_{tec1} + (CTEPR2) * \beta_{tec2} + (CTEPR3) * \beta_{tec3} + (CTEPR4) * \beta_{tec4}$		

Fuente: Elaboración propia con información de Ribeiro (2006)

Derivado de este indicador Macro, se puede estimar un potencial de ahorro de energía que existe con la sustitución de refrigeradores de baja eficiencia, por modelos de menor consumo energético; y hacer una evaluación de los programas gubernamentales que existen actualmente, tomando como referencia su capacidad de respuesta y los logros que se tengan en ahorro de energía. Además, los objetivos del presente indicador pueden ir enfocados hacia varias directrices, tales como planes de acción y estrategias comunitarias enfocadas a la eficiencia energética; o al desarrollo de programas piloto relacionados con el consumo energético residencial, haciendo énfasis en los refrigeradores domésticos.

Con la integración de los indicadores macro de cada una de las categorías; se tiene que llevar a cabo una validación matemática del comportamiento de los indicadores complejos involucrados, ya que son el marco de referencia en donde se sustentará el estudio de las tendencias futuras para cada uno de ellos. Este proceso se conocerá como validación de los escenarios base; y es por medio de regresiones lineales múltiples, en donde el objetivo es encontrar las mejores tendencias de cada indicador complejo tomando como referencia los datos reales de cada uno. Primeramente se hará en un intervalo de tiempo de 2005 a 2008; y posteriormente para los años 2000 a 2008.

#### 4.5. Validación de los escenarios base

Para efectuar la validación de los escenarios base, primeramente se tomo un intervalo de tiempo entre 2005 y 2008, en donde se determinaron las expresiones matemáticas que describen el comportamiento de cada uno de los indicadores complejos, en función

de los vectores independientes que lo describen. De estas expresiones se conocen los valores del indicador en cada año, por lo que se puede determinar valores para un elemento de ponderación que se conocerá como alfa ( $\alpha$ ), el cual se ajustará estadísticamente para dar la mejor tendencia de los indicadores. Posteriormente se validaran las tendencias por medio de los coeficientes de determinación, en donde se sabrá que tan confiable es el escenario base que se ha generado hasta el momento. Después se hará de la misma manera otra validación, pero ahora tomando el intervalo de tiempo de 2000 a 2008, y así se obtendrán expresiones matemáticas que describen las mejores tendencias de los indicadores complejos; y mas adelante podrán desarrollar los escenarios de forma prospectiva. A continuación se presenta el análisis estadístico para la validación de los escenarios base.

#### 4.5.1. Modelo utilizado

Uno de los objetivos centrales del estudio es describir la asociación que existe entre los indicadores compuestos y los vectores independientes, por ello se utilizó un modelo de regresión múltiple<sup>79</sup>, ya que es una de las aplicaciones de estos modelos y además involucra un elemento de ponderación ( $\alpha$ ) que se ajusta a las necesidades del estudio.

El modelo matemático está dado por la siguiente relación funcional:

$$y_i = \alpha_o + \alpha_1 x_{i1} + \alpha_2 x_{i2} + \dots + \alpha_k x_{ik} + \varepsilon_i \quad (4.1)$$

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

El modelo indica que la respuesta de la variable dependiente (Indicadores compuestos) en la  $i$ -ésima persona [ $Y_i$ ], se recupera casi por completo, al multiplicar ciertas ponderaciones ( $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$ ) por los valores de las variables independientes (vectores independientes) ( $x_1, x_2, \dots, x_k$ ), también de la  $i$ -ésima persona, más un error de tipo aleatorio ( $\varepsilon_i$ ). Además el modelo se complementa estableciendo los siguientes supuestos en el error ( $\varepsilon_i$ ).

- Homocedasticidad. Es el nombre que se le da al supuesto de que las varianzas de los errores  $\varepsilon_i$  son iguales para todas las personas,
- Independencia de errores. Se supone que los errores son independientes estocásticamente, lo que implica que la ocurrencia de un error específico no altera las probabilidades de ocurrencia de los otros errores, y
- Normalidad. Se supone que la distribución de probabilidad de los errores  $\varepsilon_i$  es normal con media cero y varianza  $\sigma^2$ .

El modelo se utilizó para analizar combinaciones diferentes entre los vectores independientes y los indicadores complejos que integran cada categoría, dando como resultado 28 combinaciones, donde cada conjunto estudiado esta formado por

---

<sup>79</sup> Thomopoulos, N. (1980). *Op. Cit.*

interacciones de todo tipo. En el anexo II se presentan las variables independientes que resultaron ser las que determinaron cada uno de los comportamientos de las categorías. En la tabla 4.6 se muestran dichas combinaciones de todas las categorías que se utilizarán más adelante para validar la metodología.

**Tabla 4.6. Combinación de variables independientes que explican la variable dependiente por categoría**

Categoría	Combinación
Económica	Costo anual de Energía por Región con Estación del año
	Costo anual de Energía por Región con Eficiencia
	Costo anual de Energía por Región con Tamaño
	Costo anual de Energía por Estación con Año por Eficiencia
	Costo anual de Energía por Estación con Año por Tamaño
	Costo anual de Energía por Estación con Año por Eficiencia
Ambiental	Toneladas equivalentes de CO <sub>2</sub> por Región con Estación del Año
	Toneladas equivalentes de CO <sub>2</sub> por Región con Costo por sustitución por Estación del Año
	Toneladas equivalentes de CO <sub>2</sub> por Región con Tamaño
	Toneladas equivalentes de CO <sub>2</sub> por Región con Costo por sustitución por Tamaño
	Toneladas equivalentes de CO <sub>2</sub> por Estación del Año con Tamaño
	Toneladas equivalentes de CO <sub>2</sub> por Estación del Año con Costo por sustitución por Tamaño
Social	Viviendas sector residencial por región con Viviendas electrificadas
	Viviendas sector residencial por región con Viviendas electrificadas sin refrigerador
	Viviendas sector residencial por región con Viviendas electrificadas con refrigerador por Tamaño
	Viviendas electrificadas sector residencial con Viviendas electrificadas con refrigerador por Tamaño
Salud	Defunciones por infecciones estomacales por Región con Defunciones
	Defunciones por infecciones estomacales por Región con Ventas de Refrigeradores
	Defunciones por infecciones estomacales por Región con Ventas de Refrigeradores por Tamaño
	Defunciones por Región con Ventas de Refrigeradores por Tamaño
Tecnológico	Consumo de Energía de los Refrigeradores por Región con Estación del Año
	Consumo de Energía de los Refrigeradores por Región con Eficiencia
	Consumo de Energía de los Refrigeradores por Región con Tamaño
	Consumo de Energía de los Refrigeradores por Estación del Año con Eficiencia
	Consumo de Energía de los Refrigeradores por Estación del Año con Tamaño
	Consumo de Energía de los Refrigeradores por Tamaño con Eficiencia

Fuente: Elaboración Propia

Tomando como criterio el orden descendente en cuanto a la definición que se logra de la variable dependiente por las variables independientes, se denotaron los Modelos para cada una de las categorías de la manera siguiente:

- **Modelo 1** para el indicador Macro Costo Anual de Energía ( $I_{CAE}$ )

- **Modelo 2** para el indicador Macro Toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> (I<sub>TEQ</sub>)
- **Modelo 3** para el indicador Macro Viviendas sector residencial (I<sub>VSR</sub>)
- **Modelo 4** para el indicador Macro Defunciones por infecciones estomacales (I<sub>DIE</sub>)
- **Modelo 5** para el indicador Macro Consumo de Energía de los Refrigeradores (I<sub>CER</sub>)

Con la integración de los 5 modelos, se pueden definir las expresiones matemáticas que servirán para desarrollarlos, en donde se considera a los elementos de ponderación, junto con el total de indicadores que lo integran y el término de error que se pueda involucrar. A continuación se exponen dichas expresiones.

#### Modelo 1

$$y_i = \alpha_o + \alpha_1 x_{i1} + \alpha_2 x_{i2} + \dots + \alpha_{71} x_{i71} + \varepsilon_i \quad (4.2)$$

Donde  $i = 1, 2, 3, \dots, 71$

#### Modelo 2

$$y_i = \alpha_o + \alpha_1 x_{i1} + \alpha_2 x_{i2} + \dots + \alpha_{94} x_{i94} + \varepsilon_i \quad (4.3)$$

Donde  $i = 1, 2, 3, \dots, 94$

#### Modelo 3

$$y_i = \alpha_o + \alpha_1 x_{i1} + \alpha_2 x_{i2} + \dots + \alpha_{28} x_{i28} + \varepsilon_i \quad (4.4)$$

Donde  $i = 1, 2, 3, \dots, 28$

#### Modelo 4

$$y_i = \alpha_o + \alpha_1 x_{i1} + \alpha_2 x_{i2} + \dots + \alpha_{28} x_{i94} + \varepsilon_i \quad (4.5)$$

Donde  $i = 1, 2, 3, \dots, 28$

#### Modelo 5

$$y_i = \alpha_o + \alpha_1 x_{i1} + \alpha_2 x_{i2} + \dots + \alpha_{71} x_{i71} + \varepsilon_i \quad (4.6)$$

Donde  $i = 1, 2, 3, \dots, 71$

Las 5 ecuaciones describen el total de interacciones que pueden existir entre los vectores independientes y los indicadores complejos, además de considerar las ponderaciones alfas que ajustan los comportamientos a las necesidades que se presentarán más adelante.

#### 4.5.2. Estimación de parámetros

Para calcular los mejores estimadores de los parámetros  $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_k)$  de la ecuación 4.1, es necesario expresarla en forma matricial, es decir:

$$Y = \alpha X + \varepsilon \quad (4.7)$$

Donde:

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \cdots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & \cdots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & x_{nk} \end{bmatrix}, \quad (4.8)$$

$$\alpha = \begin{bmatrix} \alpha_0 \\ \alpha_1 \\ \vdots \\ \alpha_k \end{bmatrix}, \quad y \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

Los estimadores de los parámetros  $(\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_k)$  se calcularon por el método de mínimos cuadrados<sup>80</sup>, los cuales son los mejores estimadores que se pueden obtener ya que minimizan la suma de los errores, ósea que hacen mínimo el valor de  $\sum_{i=1}^n \varepsilon_i$ . De acuerdo con este criterio los estimadores del vector  $\alpha$  están dados por:

$$\hat{\alpha} = (X' X)^{-1} X' Y \quad (4.10)$$

Donde:

$(X' X)^{-1}$  Es la matriz inversa de  $[X' X]$

$X'$  Es la matriz transpuesta de 4.8.

En la tabla 4.7 se presentan los estimadores obtenidos para los modelos que se ajustaron a los datos de los indicadores complejos.

<sup>80</sup> Grossman, Stanley, (2008), Álgebra Lineal, Sexta Edición, Mc Graw Hill, México.

**Tabla 4.7. Alfas obtenidas por indicador macro y categoría**

Categoría	Variable	Coefficientes estandarizados (Alfas obtenidas)	Variable	Coefficientes estandarizados (Alfas obtenidas)	Variable	Coefficientes estandarizados (Alfas obtenidas)
Económica	X1	0.79478	X25	0.664869	X49	0.679931
	X2	0.80681	X26	0.803216	X50	0.842794
	X3	0.84980	X27	0.72978	X51	0.242784
	X4	0.79677	X28	0.898393	X52	0.433849
	X5	0.75950	X29	0.583111	X53	0.649159
	X6	0.77191	X30	0.774142	X54	0.283605
	X7	0.81693	X31	0.44329	X55	0.603135
	X8	0.76131	X32	0.775988	X56	0.873452
	X9	0.70626	X33	0.921891	X57	0.450199
	X10	0.71641	X34	0.345711	X58	0.269389
	X11	0.75690	X35	0.715537	X59	0.633164
	X12	0.70466	X36	0.950895	X60	0.242784
	X13	0.77851	X37	0.185623	X61	0.433849
	X14	0.79215	X38	0.25371	X62	0.649159
	X15	0.83913	X39	0.403474	X63	0.251426
	X16	0.78187	X40	0.417877	X64	0.611634
	X17	0.63830	X41	0.148983	X65	0.963685
	X18	0.65276	X42	0.499144	X66	0.095779
	X19	0.70509	X43	0.732838	X67	0.081373
	X20	0.64042	X44	0.600313	X68	0.249501
	X21	0.750717	X45	0.992269	X69	0.799294
	X22	0.901521	X46	0.851169	X70	0.463319
	X23	0.712858	X47	0.732915	X71	0.806353
	X24	0.872308	X48	0.903735		
Categoría	Variable	Coefficientes estandarizados (Alfas obtenidas)	Variable	Coefficientes estandarizados (Alfas obtenidas)	Variable	Coefficientes estandarizados (Alfas obtenidas)
Ambiental	X1	0.11639	X32	0.64599	X63	0.261952
	X2	0.98661	X33	0.69376	X64	0.195349
	X3	0.83454	X34	0.70858	X65	0.065882
	X4	0.89653	X35	0.71734	X66	0.333862
	X5	0.98048	X36	0.71667	X67	0.253547
	X6	0.86567	X37	0.48064	X68	0.701508
	X7	0.72869	X38	0.48956	X69	0.116005
	X8	0.78596	X39	0.49936	X70	0.068943
	X9	0.32704	X40	0.48712	X71	0.736573
	X10	0.18383	X41	0.759585	X72	0.118277
	X11	0.01872	X42	0.164411	X73	0.273809
	X12	0.08440	X43	0.349202	X74	0.643201
	X13	0.82947	X44	0.665639	X75	0.991202
	X14	0.72657	X45	0.022855	X76	0.124707
	X15	0.60280	X46	0.162069	X77	0.529299
	X16	0.65545	X47	0.927712	X78	0.842094

	X17	0.52573	X48	0.388167	X79	0.953127
	X18	0.44668	X49	0.598946	X80	0.578533
	X19	0.34785	X50	0.549312	X81	0.903499
	X20	0.39245	X51	0.864602	X82	0.021023
	X21	0.68420	X52	0.981827	X83	0.00634
	X22	0.69506	X53	0.313434	X84	0.26893
	X23	0.70183	X54	0.553788	X85	0.19986
	X24	0.70059	X55	0.602932	X86	0.0255
	X25	0.65223	X56	0.181409	X87	0.29228
	X26	0.66366	X57	0.40429	X88	0.2195
	X27	0.67128	X58	0.317794	X89	0.08537
	X28	0.66882	X59	0.061344	X90	0.34777
	X29	0.63241	X60	0.318826	X91	0.26675
	X30	0.64226	X61	0.243676	X92	0.02425
	X31	0.64903	X62	0.014973	X93	0.29832
					X94	0.22445
Categoría	Variable	Coefficientes estandarizados (Alfas obtenidas)	Variable	Coefficientes estandarizados (Alfas obtenidas)	Variable	Coefficientes estandarizados (Alfas obtenidas)
Social	X1	0.679972	X11	0.961189	X21	0.784112
	X2	0.622504	X12	0.880562	X22	0.554377
	X3	0.645193	X13	0.484636	X23	0.619923
	X4	0.648906	X14	0.078077	X24	0.799422
	X5	0.701694	X15	0.851571	X25	0.63744
	X6	0.176086	X16	0.467628	X26	0.507688
	X7	0.178561	X17	0.463388	X27	0.798796
	X8	0.378405	X18	0.783091	X28	0.564587
	X9	0.389543	X19	0.549941		
	X10	0.85748	X20	0.477626		
Categoría	Variable	Coefficientes estandarizados (Alfas obtenidas)	Variable	Coefficientes estandarizados (Alfas obtenidas)	Variable	Coefficientes estandarizados (Alfas obtenidas)
Salud	X1	0.73891	X11	0.800335	X21	0.429503
	X2	0.232375	X12	0.126405	X22	0.865116
	X3	0.89463	X13	0.172775	X23	0.347335
	X4	0.66275	X14	0.881417	X24	0.827671
	X5	0.088952	X15	0.643834	X25	0.501893
	X6	0.992762	X16	0.729948	X26	0.949757
	X7	0.573814	X17	0.477258	X27	0.61809
	X8	0.645081	X18	0.218558	X28	0.478108
	X9	0.5297	X19	0.646526		
	X10	0.933186	X20	0.361075		
Categoría	Variable	Coefficientes estandarizados (Alfas obtenidas)	Variable	Coefficientes estandarizados (Alfas obtenidas)	Variable	Coefficientes estandarizados (Alfas obtenidas)
Tecnológica	X1	0.91830	X25	0.889712	X49	0.410074
	X2	0.77353	X26	0.543072	X50	0.941689

X3	0.95580	X27	0.913933	X51	0.593987
X4	0.78861	X28	0.590464	X52	0.875975
X5	0.94183	X29	0.927043	X53	0.411408
X6	0.79547	X30	0.739369	X54	0.869821
X7	0.98005	X31	0.73136	X55	0.586063
X8	0.81016	X32	0.79512	X56	0.281638
X9	0.58738	X33	0.341825	X57	0.732739
X10	0.48355	X34	0.796911	X58	0.491957
X11	0.61019	X35	0.813306	X59	0.206223
X12	0.50002	X36	0.351274	X60	0.90432
X13	0.62150	X37	0.834467	X61	0.605867
X14	0.51794	X38	0.549801	X62	0.295661
X15	0.64442	X39	0.247304	X63	0.74844
X16	0.53389	X40	0.881421	X64	0.50765
X17	0.34199	X41	0.581277	X65	0.22095
X18	0.27033	X42	0.272113	X66	0.878862
X19	0.35483	X43	0.378096	X67	0.960843
X20	0.28485	X44	0.353195	X68	0.832619
X21	0.86025	X45	0.161833	X69	0.844121
X22	0.255633	X46	0.929839	X70	0.349168
X23	0.864805	X47	0.55166	X71	0.741848
X24	0.372833	X48	0.857629		

Fuente: Elaboración propia con metodología de Grossman (2008)

Con las alfas obtenidas para todas las categorías, se pueden llevar una serie de pruebas, relacionadas con la significancia del modelo, el nivel de errores en las aproximaciones y la confiabilidad del mismo.

#### 4.5.3. Pruebas de significancia del modelo

En problemas de regresión lineal múltiple ciertas pruebas de hipótesis acerca de los parámetros del modelo son útiles para medir que tan adecuado es el mismo. La prueba de la significancia de la regresión sirve para determinar si en realidad existe una relación entre la variable respuesta “Y” y cualquier variable independiente  $X_i$ <sup>81</sup>. La prueba se basa en la siguiente hipótesis.

$$H_0 = \alpha_1 = \alpha_2 = \dots \alpha_k = 0 \quad (4.11)$$

Contra

$$H_1 = \alpha_j \neq 0 \text{ al menos para un } j$$

<sup>81</sup> Lind, Marchal, Mason, (2004). Estadística para administración y economía. 11ava. Edición. Alfa Omega Grupo Editor, México D.F.

Rechazar la hipótesis  $H_0$  implica que al menos una de las variables independientes contribuye significativamente en el modelo, el procedimiento para probar  $H_0$  se basa en la siguiente estadística:

$$F_0 = \frac{SS_R / k}{SS_E / (n - k - 1)} \quad (4.12)$$

La cual tiene una distribución de probabilidad F de Snedecor con k grados de libertad en el numerador y (n-k-1) grados de libertad en el denominador; k es el número de variables independientes en el modelo y n es el número de observaciones en el estudio.

$$H_0 \text{ se rechaza si } F_0 > F_{\alpha, k, n-k-1}$$

El procedimiento usualmente se resume en un análisis de varianza y los resultados para cada modelo se obtuvieron empleando el software MiniTAB, incluido en Lind (2004), además de corroborarlos por medio de hojas de cálculo previamente programadas. La tabla 4.8 presenta los resultados que se obtuvieron para los 5 Modelos planteados.

**Tabla 4.8. Análisis de varianza para probar la hipótesis de la significancia**

<b>Categoría Económica</b>				
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	$F_0$
Regresión	3886.08	23	168.96	375.94
Residual	972.12	2163	0.45	
Total	4858.21	2186		
<b>Categoría Ambiental</b>				
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	$F_0$
Regresión	1427.00	27	52.85	98.02
Residual	1164.08	2159	0.539	
Total	2591.08	2106		
<b>Categoría Social</b>				
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	$F_0$
Regresión	350.22	12	29.19	26.63
Residual	1086.01	991	1.10	
Total	1436.23	1003		
<b>Categoría Salud</b>				
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	$F_0$
Regresión	146.99	11	13.36	25.71
Residual	515.55	992	0.52	
Total	662.54	1003		

Categoría Tecnológica				
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F <sub>0</sub>
Regresión	345.94	23	135.63	325.61
Residual	757.56	1992	0.45	
Total	1103.5	2015		

Fuente: Elaboración propia con apoyo del Software MiniTAB y Hojas de Cálculo

Los datos de la tabla 4.8 de análisis de varianza indican que la hipótesis (ec. 4.11) se rechaza con un nivel de significancia de  $\alpha = 1$  por ciento en los 5 modelos, lo que indica que al menos una variable  $X_i$  explica a la variable dependiente respectiva en cada modelo. En los modelos de regresión es también de interés probar hipótesis para coeficientes de regresión individuales, estas pruebas son útiles para determinar la contribución al cambio total de Y de cada una de las variables independientes. Las hipótesis para probar la significancia de cualquier coeficiente de una variable independiente individual son

$$H_0 : \alpha_j = 0 \quad (4.13)$$

Contra:

$$H_1 : \alpha_j \neq 0$$

Si la hipótesis  $H_0$  no se rechaza, indica que la variable independiente  $X_j$  se puede quitar del modelo (ec. 4.1). La estadística de prueba para la hipótesis es:

$$t_0 = \frac{\hat{\alpha}}{se(\hat{\alpha})} \quad (4.14)$$

La cual se distribuye como una  $t$  de Student con  $n - k - 1$  grados de libertad. La hipótesis nula  $H_0$  se rechaza si el valor absoluto de  $t_0 > t_{\alpha/2, n-k-1}$ . Los resultados se obtuvieron de igual forma con el apoyo del MiniTAB y presentan en la tabla 4.9

**Tabla 4.9. Valores de  $t_0$  para probar la significancia de cada variable individual**

Categoría Económica									
Variable	Coefficiente no Estandarizado	Error Estándar	$t_0$	Significancia	Variable	Coefficiente no Estandarizado	Error Estándar	$t_0$	Significancia
X1	2.406	0.173	-0.17	-0.150	X36	0.026	0.066	0.043	0.118
X2	0.066	-0.008	-0.08	0.275	X37	0.033	0.004	0.032	0.028
X3	-0.302	0.213	0.042	-0.060	X38	0.061	0.116	0.072	0.068
X4	-0.366	0.041	-0.96	0.114	X39	8.246	-9.723	-12.3	7.342
X5	-0.096	0.036	0.098	-0.124	X40	-12.287	10.472	-10.4	4.688

X6	-0.109	0.116	-0.12	-0.045	X41	-6.163	-9.621	8.59	8.658
X7	0.463	0.003	0.018	0.017	X42	-7.971	5.074	-8.40	5.281
X8	0.008	0.003	0.028	0.063	X43	5.957	-5.296	4.491	-3.465
X9	0.102	0.060	0.011	0.015	X44	2.812	3.613	4.476	-3.672
X10	0.078	0.010	0.237	0.057	X45	0.158	0.007	0.091	0.030
X11	0.028	0.015	0.028	0.040	X46	0.026	0.066	0.043	0.118
X12	0.044	0.046	0.060	0.023	X47	0.033	0.004	0.032	0.028
X13	5.192	57.704	-9.94	-8.716	X48	0.061	0.116	0.072	0.068
X14	8.709	-2.256	-2.98	4.356	X49	8.246	-9.723	-12.3	7.342
X15	-2.974	3.575	3.693	-3.947	X50	-12.287	10.472	-10.4	4.688
X16	-4.670	4.285	-4.08	2.022	X51	-6.163	-9.621	8.59	8.658
X17	-3.364	2.397	3.507	-3.089	X52	0.028	0.015	0.028	0.040
X18	-2.448	2.506	-2.09	-1.978	X53	0.044	0.046	0.060	0.023
X19	0.000	0.000	0.000	0.000	X54	5.192	57.704	-9.94	-8.716
X20	0.000	0.024	0.003	0.000	X55	8.709	-2.256	-2.98	4.356
X21	0.003	0.000	0.000	0.000	X56	5.192	57.704	-9.94	-8.716
X22	0.000	0.000	0.000	0.043	X57	8.709	-2.256	-2.98	4.356
X23	0.001	0.017	0.000	0.002	X58	-2.974	3.575	3.693	-3.947
X24	0.014	0.012	0.036	0.048	X59	-4.670	4.285	-4.08	2.022
X25	-6.163	-9.621	8.59	8.658	X60	-3.364	2.397	3.507	-3.089
X26	0.028	0.015	0.028	0.040	X61	-12.287	10.472	-10.4	4.688
X27	0.044	0.046	0.060	0.023	X62	-6.163	-9.621	8.59	8.658
X28	0.011	0.021	0.039	0.066	X63	0.028	0.015	0.028	0.040
X29	1.270	10.474	8.842	2.970	X64	0.044	0.046	0.060	0.023
X30	4.248	3.900	-5.21	3.457	X65	0.011	0.021	0.039	0.066
X31	-3.296	2.832	3.306	-2.508	X66	1.270	10.474	8.842	2.970
X32	0.044	0.046	0.060	0.023	X67	0.044	0.046	0.060	0.023
X33	0.011	0.021	0.039	0.066	X68	0.011	0.021	0.039	0.066
X34	1.270	10.474	8.842	2.970	X69	1.270	10.474	8.842	2.970
X35	0.044	0.046	0.060	0.023	X70	4.248	3.900	-5.21	3.457
					X71	-3.296	2.832	3.306	-2.508

Categoría Ambiental									
Variable	Coefficiente no Estandarizado	Error Estándar	$t_0$	Significancia	Variable	Coefficiente no Estandarizado	Error Estándar	$t_0$	Significancia
X1	2.815	-0.222	-0.06	0.082	X48	-7.971	5.074	-8.40	5.281
X2	-0.245	0.022	-0.47	0.158	X49	0.463	0.003	0.018	0.017
X3	-0.453	-0.102	0.180	0.096	X50	0.008	0.003	0.028	0.063
X4	-1.260	0.038	-0.76	0.159	X51	0.102	0.060	0.011	0.015
X5	0.157	-0.349	-0.19	-0.410	X52	0.078	0.010	0.237	0.057
X6	0.092	0.013	0.142	-0.105	X53	0.028	0.015	0.028	0.040
X7	-0.206	-0.345	-0.23	0.182	X54	0.044	0.046	0.060	0.023
X8	0.341	0.023	0.005	0.011	X55	5.192	57.704	-9.94	-8.716
X9	0.020	0.002	0.045	0.034	X56	8.709	-2.256	-2.98	4.356
X10	0.074	0.011	0.021	0.011	X57	-2.974	3.575	3.693	-3.947
X11	0.158	0.007	0.091	0.030	X58	-4.670	4.285	-4.08	2.022
X12	0.026	0.066	0.043	0.118	X59	-3.364	2.397	3.507	-3.089
X13	0.033	0.004	0.032	0.028	X60	-12.287	10.472	-10.4	4.688
X14	0.061	0.116	0.072	0.068	X61	-6.163	-9.621	8.59	8.658
X15	8.246	-9.723	-12.3	7.342	X62	0.028	0.015	0.028	0.040

X16	-12.287	10.472	-10.4	4.688	X63	0.044	0.046	0.060	0.023
X17	-6.163	-9.621	8.59	8.658	X64	0.011	0.021	0.039	0.066
X18	-7.971	5.074	-8.40	5.281	X65	1.270	10.474	8.842	2.970
X19	5.957	-5.296	4.491	-3.465	X66	4.248	3.900	-5.21	3.457
X20	2.812	3.613	4.476	-3.672	X67	-3.296	2.832	3.306	-2.508
X21	-3.366	-2.988	-3.23	2.675	X68	0.044	0.046	0.060	0.023
X22	0.000	0.000	0.000	0.000	X69	0.011	0.021	0.039	0.066
X23	0.033	0.004	0.032	0.028	X70	1.270	10.474	8.842	2.970
X24	0.061	0.116	0.072	0.068	X71	0.044	0.046	0.060	0.023
X25	8.246	-9.723	-12.3	7.342	X72	0.011	0.021	0.039	0.066
X26	-12.287	10.472	-10.4	4.688	X73	1.270	10.474	8.842	2.970
X27	-6.163	-9.621	8.59	8.658	X74	0.002	0.001	0.020	0.020
X28	0.028	0.015	0.028	0.040	X75	0.009	0.012	0.012	0.002
X29	0.044	0.046	0.060	0.023	X76	0.019	0.029	0.679	14.942
X30	0.011	0.021	0.039	0.066	X77	-3.366	-4.172	4.244	2.632
X31	1.270	10.474	8.842	2.970	X78	-2.529	-2.521	3.166	3.199
X32	4.248	3.900	-5.21	3.457	X79	2.077	-2.330	2.247	0.497
X33	-3.296	2.832	3.306	-2.508	X80	0.000	0.001	0.000	0.000
X34	0.205	0.000	0.000	0.003	X81	0.009	0.012	0.012	0.002
X35	0.000	0.000	0.000	0.001	X82	0.033	0.004	0.032	0.028
X36	0.009	0.012	0.012	0.002	X83	0.061	0.116	0.072	0.068
X37	0.320	0.054	0.423	-0.044	X84	0.402	0.127	-0.07	-0.120
X38	0.065	0.327	0.010	0.000	X85	0.320	0.054	0.423	-0.044
X39	0.135	0.095	0.048	0.031	X86	0.065	0.327	0.010	0.000
X40	-4.670	4.285	-4.08	2.022	X87	0.135	0.095	0.048	0.031
X41	-3.364	2.397	3.507	-3.089	X88	-4.670	4.285	-4.08	2.022
X42	-12.287	10.472	-10.4	4.688	X89	-3.364	2.397	3.507	-3.089
X43	8.246	-9.723	-12.3	7.342	X90	-12.287	10.472	-10.4	4.688
X44	-12.287	10.472	-10.4	4.688	X91	-3.366	-4.172	4.244	2.632
X45	-6.163	-9.621	8.59	8.658	X92	-2.529	-2.521	3.166	3.199
X46	0.028	0.015	0.028	0.040	X93	0.065	0.327	0.010	0.000
X47	-12.287	10.472	-10.4	4.688	X94	0.135	0.095	0.048	0.031

Categoría Social									
Variable	Coefficiente no Estandarizado	Error Estándar	$t_0$	Significancia	Variable	Coefficiente no Estandarizado	Error Estándar	$t_0$	Significancia
X1	0.222	0.150	-0.001	-0.563	X15	0.044	0.046	0.060	0.023
X2	0.402	0.127	-0.07	-0.120	X16	5.192	57.704	-9.94	-8.716
X3	0.320	0.054	0.423	-0.044	X17	8.709	-2.256	-2.98	4.356
X4	0.065	0.327	0.010	0.000	X18	5.192	57.704	-9.94	-8.716
X5	0.135	0.095	0.048	0.031	X19	8.709	-2.256	-2.98	4.356
X6	0.048	0.101	0.017	0.204	X20	-2.974	3.575	3.693	-3.947
X7	0.019	0.029	0.679	14.942	X21	-4.670	4.285	-4.08	2.022
X8	-3.366	-4.172	4.244	2.632	X22	-3.364	2.397	3.507	-3.089
X9	-2.529	-2.521	3.166	3.199	X23	-12.287	10.472	-10.4	4.688
X10	2.077	-2.330	2.247	0.497	X24	-6.163	-9.621	8.59	8.658
X11	0.000	0.001	0.000	0.000	X25	0.028	0.015	0.028	0.040
X12	0.009	0.012	0.012	0.002	X26	0.044	0.046	0.060	0.023
X13	0.033	0.004	0.032	0.028	X27	1.270	10.474	8.842	2.970
X14	0.061	0.116	0.072	0.068	X28	8.246	-9.723	-12.3	7.342

Categoría Salud									
Variable	Coefficiente no Estandarizado	Error Estándar	$t_0$	Significancia	Variable	Coefficiente no Estandarizado	Error Estándar	$t_0$	Significancia
X1	0.338	0.129	0.049	0.007	X15	-2.974	3.575	3.693	-3.947
X2	0.571	0.087	-0.06	0.078	X16	-4.670	4.285	-4.08	2.022
X3	-0.036	0.059	0.128	-0.164	X17	-3.364	2.397	3.507	-3.089
X4	0.266	0.012	0.006	0.002	X18	-12.287	10.472	-10.4	4.688
X5	0.134	0.022	0.012	0.023	X19	-6.163	-9.621	8.59	8.658
X6	0.011	0.021	0.039	0.066	X20	0.028	0.015	0.028	0.040
X7	1.270	10.474	8.842	2.970	X21	0.044	0.046	0.060	0.023
X8	4.248	3.900	-5.21	3.457	X22	0.134	0.022	0.012	0.023
X9	-3.296	2.832	3.306	-2.508	X23	0.074	0.011	0.021	0.011
X10	0.205	0.000	0.000	0.003	X24	0.158	0.007	0.091	0.030
X11	0.000	0.000	0.000	0.001	X25	0.026	0.066	0.043	0.118
X12	0.009	0.012	0.012	0.002	X26	-12.287	10.472	-10.4	4.688
X13	0.033	0.004	0.032	0.028	X27	-6.163	-9.621	8.59	8.658
X14	0.061	0.116	0.072	0.068	X28	8.246	-9.723	-12.3	7.342

Categoría Tecnológica									
Variable	Coefficiente no Estandarizado	Error Estándar	$t_0$	Significancia	Variable	Coefficiente no Estandarizado	Error Estándar	$t_0$	Significancia
X1	2.406	0.173	-0.17	-0.150	X36	8.709	-2.256	-2.98	4.356
X2	0.066	-0.008	-0.08	0.275	X37	5.192	57.704	-9.94	-8.716
X3	0.134	0.022	0.012	0.023	X38	8.709	-2.256	-2.98	4.356
X4	0.011	0.021	0.039	0.066	X39	-2.974	3.575	3.693	-3.947
X5	1.270	10.474	8.842	2.970	X40	-12.287	10.472	-10.4	4.688
X6	4.248	3.900	-5.21	3.457	X41	-6.163	-9.621	8.59	8.658
X7	-3.296	2.832	3.306	-2.508	X42	-7.971	5.074	-8.40	5.281
X8	0.008	0.003	0.028	0.063	X43	5.957	-5.296	4.491	-3.465
X9	0.102	0.060	0.011	0.015	X44	0.044	0.046	0.060	0.023
X10	0.078	0.010	0.237	0.057	X45	0.134	0.022	0.012	0.023
X11	0.011	0.021	0.039	0.066	X46	0.074	0.011	0.021	0.011
X12	1.270	10.474	8.842	2.970	X47	0.158	0.007	0.091	0.030
X13	0.044	0.046	0.060	0.023	X48	-6.163	-9.621	8.59	8.658
X14	0.011	0.021	0.039	0.066	X49	-7.971	5.074	-8.40	5.281
X15	1.270	10.474	8.842	2.970	X50	5.957	-5.296	4.491	-3.465
X16	-6.163	-9.621	8.59	8.658	X51	2.812	3.613	4.476	-3.672
X17	0.009	0.012	0.012	0.002	X52	-3.366	-2.988	-3.23	2.675
X18	0.019	0.029	0.679	14.942	X53	0.000	0.000	0.000	0.000
X19	-3.366	-4.172	4.244	2.632	X54	0.033	0.004	0.032	0.028
X20	-2.529	-2.521	3.166	3.199	X55	-6.163	-9.621	8.59	8.658
X21	2.077	-2.330	2.247	0.497	X56	-7.971	5.074	-8.40	5.281
X22	0.000	0.001	0.000	0.000	X57	5.957	-5.296	4.491	-3.465
X23	-3.366	-4.172	4.244	2.632	X58	2.812	3.613	4.476	-3.672
X24	0.014	0.012	0.036	0.048	X59	0.158	0.007	0.091	0.030
X25	-6.163	-9.621	8.59	8.658	X60	0.026	0.066	0.043	0.118
X26	0.028	0.015	0.028	0.040	X61	0.033	0.004	0.032	0.028
X27	0.044	0.046	0.060	0.023	X62	0.061	0.116	0.072	0.068

X28	0.011	0.021	0.039	0.066	X63	8.246	-9.723	-12.3	7.342
X29	1.270	10.474	8.842	2.970	X64	-12.287	10.472	-10.4	4.688
X30	4.248	3.900	-5.21	3.457	X65	-3.366	-4.172	4.244	2.632
X31	-3.296	2.832	3.306	-2.508	X66	-2.529	-2.521	3.166	3.199
X32	0.044	0.046	0.060	0.023	X67	2.077	-2.330	2.247	0.497
X33	0.011	0.021	0.039	0.066	X68	0.000	0.001	0.000	0.000
X34	1.270	10.474	8.842	2.970	X69	0.009	0.012	0.012	0.002
X35	0.009	0.012	0.012	0.002	X70	0.014	0.012	0.036	0.048
					X71	1.270	10.474	8.842	2.970

Fuente: Elaboración propia con apoyo del Software MiniTAB y Hojas de Cálculo

En la tabla anterior se puede observar el cálculo de la estadística  $t_0$  para probar la hipótesis (ec. 4.13); y de acuerdo con estos datos se concluye que todas las variables son importantes para explicar las respectivas variables dependientes, lo cual era de esperarse debido a las bondades del Modelo PER, que involucra a todos los factores que afectan directa o indirectamente al fenómeno que se desea estudiar. Lo que corresponde ahora es validar dicho modelo en base a su confiabilidad y variabilidad.

#### 4.5.4. Validación del modelo

El coeficiente de determinación múltiple  $R^2$  es una medida de la reducción de la variabilidad de  $Y$  obtenida usando las variables independientes  $X_1, X_2, \dots, X_k$ . Se define como:

$$R^2 = \frac{SS_R}{S_{YY}} = 1 - \frac{SS_E}{S_{YY}}$$

Sin embargo valores grandes de  $R^2$  no implican necesariamente un buen ajuste de un modelo, ya que al aumentar una variable independiente al modelo,  $R^2$  siempre se incrementa, sin importar si la variable contribuye o no al modelo. Para evitar estos problemas de las  $R^2$ , algunos autores como Thomopolulos (1980) y Lind (2004), recomiendan el uso de la  $R^2$  ajustada, la cual se define como:

$$R_k^{-2} = 1 - \left( \frac{n-1}{n-p} \right) \left( R^2 \right)$$

En base a lo anterior, se procedió a calcular los coeficientes de error, de acuerdo a los valores obtenidos y presentados en las tablas anteriores. A continuación se presenta un cuadro donde se tienen las estimaciones de éstos según los modelos ajustados (Tabla 4.10).

**Tabla 4.10. Coeficientes de determinación según modelo ajustado (2005 a 2008)**

Coeficiente	Categoría				
	Económica	Ambiental	Social	Salud	Tecnológica
$R^2$	0.804	0.751	0.544	0.621	0.765
$R^2$ ajustada	0.798	0.545	0.235	0.213	0.897

Fuente: Elaboración propia con apoyo del Software MiniTAB y Hojas de Cálculo

Con respecto a las categorías propuestas en este trabajo para definir el consumo de energía del parque de refrigeradores domésticos, en función de una serie de políticas energéticas; y de acuerdo a los resultados obtenidos a través del análisis antes descrito, se puede mencionar que la  $R^2$  ajustada es más baja que la  $R^2$  no ajustada. Sin embargo las diferencias son pequeñas.

Por otra parte, se observa que el Modelo 1 de la categoría económica se ajusta muy bien a los datos, ya que explica el 80% de la variación de la variable dependiente; mientras que los Modelos 2 y 5 de las categorías Ambiental y Tecnológica presentan coeficientes de determinación que se pueden clasificar como buenos, ya que son confiables en un 75 y 76% respectivamente, en relación a la variación total de la variable dependiente. Por parte del Modelo 5, su desarrollo experimental sirvió de mucho para determinar aceptablemente la variación total de las variables dependientes. Los Modelos 3 y 4 tienen un bajo ajuste, por lo que las conclusiones que se basen en estos modelos deben tomarse con mucha reserva, ya que la probabilidad de cometer errores con estos modelos es alta, comparada con el rango de variabilidad de los modelos 1, 2 y 5.

Además el carácter holístico de los modelos propuestos para cada una de las categorías<sup>82</sup> y en particular el aspecto económico y tecnológico, considera que las variables vinculadas forman parte de los otros modelos en que se desagregó el fenómeno estudiado. Por ello, se consideraron ese tipo de hipótesis, en donde se le confiere un carácter holístico al fenómeno y por tanto los modelos que lo definen, tienen por consecuencia la característica de ser holísticos. La validación de la metodología por medio de aplicaciones matemáticas permitió generar una serie de ejemplos de las variaciones que tienen los indicadores complejos a través del tiempo, junto con su nuevo comportamiento cuando se le asignan los valores de las betas a las ecuaciones que los describen.

Lo que corresponde ahora es llevar a cabo una nueva validación de los escenarios base, pero ahora en el intervalo de tiempo de 2000 a 2008 y con esto obtener nuevamente los elementos de ponderación alfa, junto con los coeficientes de determinación para cada una de las categorías. A continuación se presentan los

<sup>82</sup> Savory Allan (2005). Manejo Holístico. Un nuevo marco metodológico para la toma de decisiones. 1era Edición en Español. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología.

resultados obtenidos. Para ello se empleo la misma validación matemática que en el periodo de tiempo de 2005 a 2008. (Tabla 4.11)

**Tabla 4.11. Coeficientes de determinación según modelo ajustado (2000 a 2008)**

Coeficiente	Categoría				
	Económica	Ambiental	Social	Salud	Tecnológica
$R^2$	0.854	0.784	0.685	0.711	0.827
$R^2$ ajustada	0.821	0.625	0.458	0.442	0.778

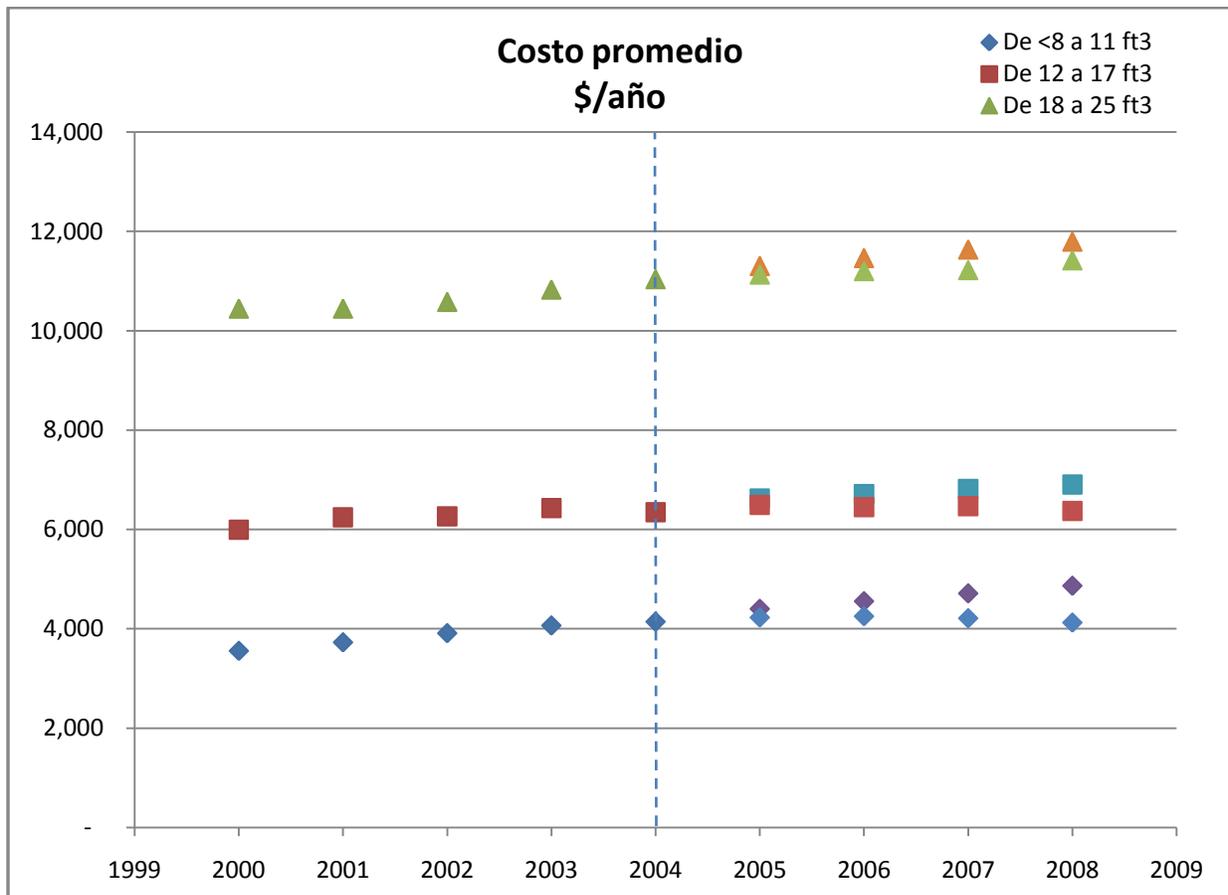
Fuente: Elaboración propia con apoyo del Software MiniTAB y Hojas de Cálculo

De la tabla 4.11 se observa que la categoría económica tiene un buen ajuste de datos, ya que la confiabilidad del modelo es del 85%; mientras que las categorías Ambiental y Tecnológica presentan coeficientes de determinación de igual forma buenos, ya que son confiables entre un 78 y 82% respectivamente, en relación a la variación total de la variable dependiente. Por otra parte, las categorías Social y de Salud presentaron una mejoría en confiabilidad con respecto a lo calculado en la tabla 4.10, ya que pasaron de un 54 y 62% a 68 y 71% respectivamente, por lo que la información basada en estos análisis se puede considerar dentro de un margen permitido en la investigación, ya que los errores se redujeron considerablemente. Con la validación de los escenarios base dentro de los intervalos de tiempo establecidos, se puede efectuar la integración de toda la información hasta el momento generada por medio de un proceso de extracción de datos, el cual será el eje principal para poder desarrollar la metodología del presente trabajo de investigación y se presentara más adelante. A continuación se presenta una serie de ejemplos de aplicación de los escenarios base, en donde se podrá observa la tendencia real de los indicadores complejos en un intervalo de tiempo determinado, junto con la tendencia ajustada por medio de cada uno de los modelos que se encontraron.

#### 4.6. Ejemplos de validación de Escenarios Base

En este ejemplo de aplicación se muestra la validación de los modelos hasta ahora desarrollados, ya que se observa el comportamiento de los datos reales y la tendencia obtenida por medio del desarrollo matemático. Dicha aplicación del modelo se hace a partir de un comportamiento con determinadas particularidades económicas, ambientales, sociales, de salud o tecnológicas ya conocidas; junto con los valores de las mejores alfas que describen el principal comportamiento a través de una nueva ecuación característica que se adapta al modelo.

De acuerdo a los indicadores complejos que explican la categoría económica, se tiene el siguiente ejemplo que muestra el comportamiento de sus valores reales, junto con la propuesta del Modelo I antes descrita y desarrollada, que emplea las alfas encontradas; y que valida dicho proceder (Gráfica 4.1).



Gráfica 4.1. Costo promedio de los refrigeradores domésticos por tamaño, datos reales y tendencias ajustadas con el Modelo I

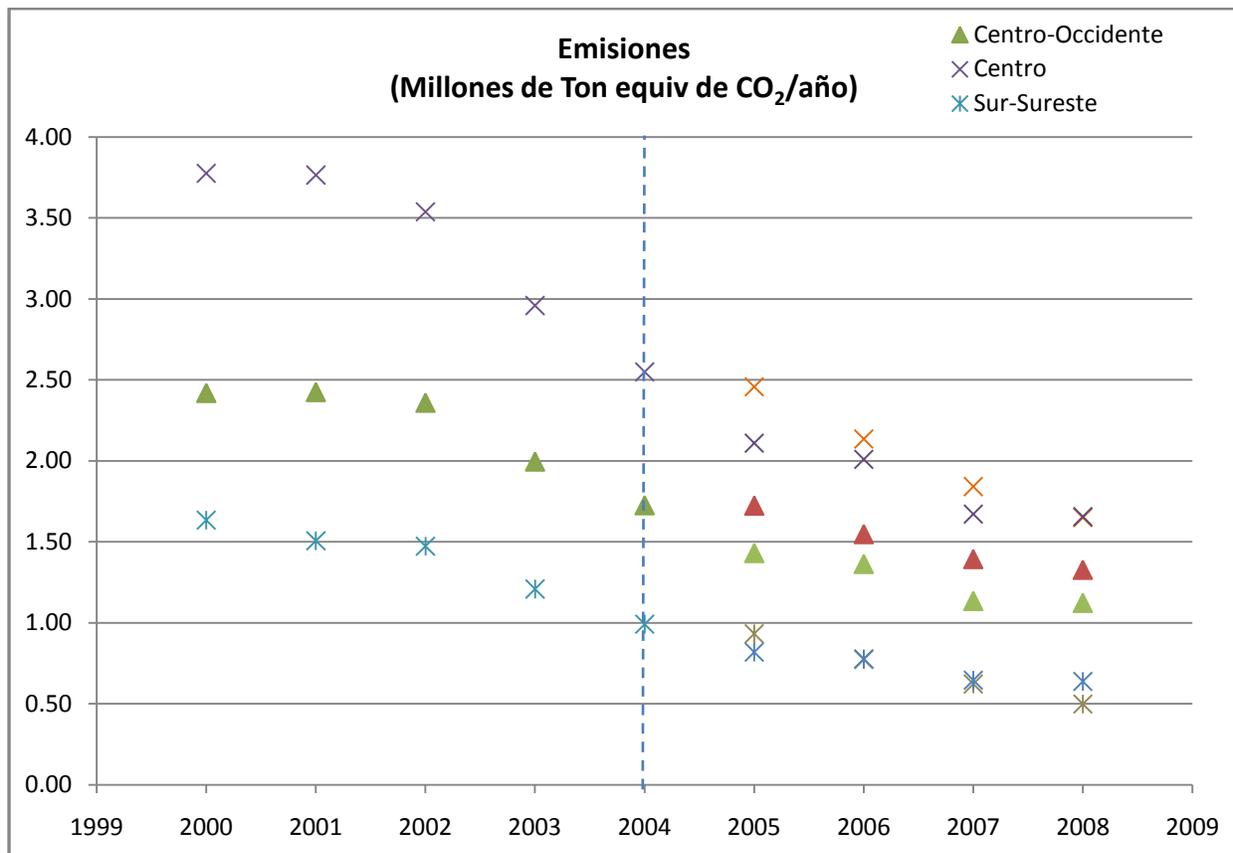
Fuente: Elaboración propia

De la gráfica 4.1 se observa que las tendencias de los refrigeradores más grandes (de 18 a 25 ft<sup>3</sup>), tanto para los valores ya conocidos, como para los estimados por medio del modelo I, son bastante aceptables, mientras que los catalogados como medianos (de 12 a 17 ft<sup>3</sup>) y los más pequeños (De <8 a 11 ft<sup>3</sup>), se mantienen con muy poca variación, aunque la tendencia de los medianos es a la alza, y para los otros lo contrario. Esto es indicador bastante interesante, ya que se puede intuir que con el paso del tiempo los costos de estos dos grupos de refrigeradores podrían ser bastante semejantes, lo cual obligaría a los usuarios a comprar el equipo considerando otros factores como por ejemplo su eficiencia y no solamente basarse en el costo o el tamaño.

Además, los costos para adquirir refrigeradores de más de 18 ft<sup>3</sup> son casi tres veces mayores a los de menos de 12 ft<sup>3</sup>, lo cual es otro argumento que refuerza lo antes descrito. Por otra parte, los hogares capaces de pagar por este tamaño de equipo, lo hacen pensando en satisfacer sus necesidades de familia y no toman en cuenta la eficiencia y el ahorro de energía. Aunque el grupo de refrigeradores grandes en comparación con el total del parque no es tan representativo en términos monetarios,

por lo que habrá que ubicar los objetivos de las futuras políticas energéticas en los otros dos grupos.

Por parte de la categoría ambiental se tiene un análisis que se muestra en la gráfica 4.2, donde se observa que la región Centro presenta tendencias con algunas variaciones entre los valores reales y los estimados por medio del Modelo II, aunque cabe señalar que todas las directrices se encuentran decreciendo, esto se debe a que la eficiencia de los refrigeradores ha ido en aumento con el paso del tiempo, además de que los equipos viejos poco a poco van saliendo de funcionamiento.



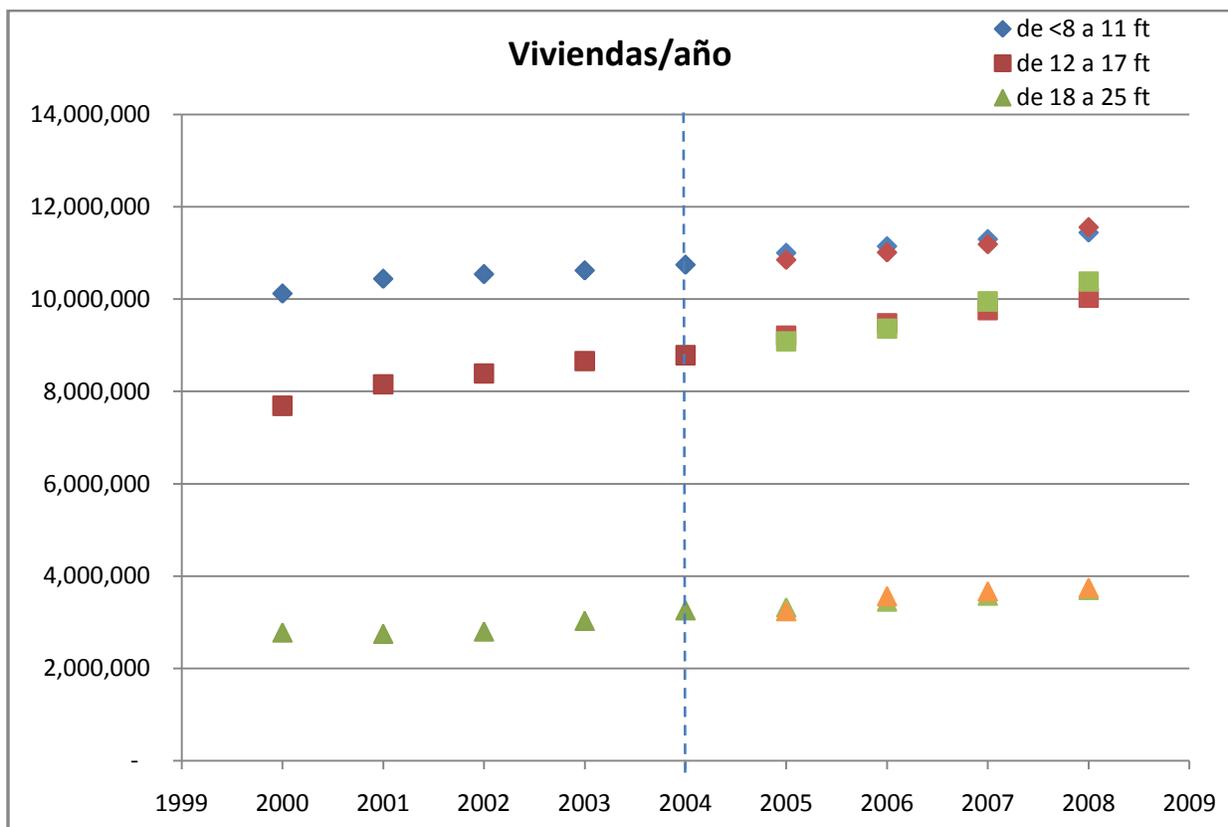
Gráfica 4.2. Emisiones de CO<sub>2</sub> por refrigeración doméstica por región, datos reales y tendencias ajustadas con el Modelo II  
Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, la región Centro-Occidente presentan una tendencia real bastante por debajo de la ajustada, lo cual indica que existen una posible respuesta, en función del parque de refrigeradores que componen cada región, ya que de estudios anteriores<sup>83</sup> se sabe que esta zona esta compuesta por mas aparatos de baja eficiencia. Además, la parte Sur-Sureste mantiene mismos comportamientos, lo cual puede ser debido al uso adecuado de la energía eléctrica en las viviendas. En general los comportamientos de

<sup>83</sup> Arroyo, (2004). *Op. Cit.*

las aproximaciones de estas regiones son bastante buenos y confiables; y pueden servir para proponer y validar políticas energéticas vinculadas con protocolos a nivel mundial que exigen la reducción en las emisiones de gases agotadores de la capa de ozono.

En la categoría Social los refrigeradores pequeños están presentes en la mayoría de las viviendas de todas las regiones (Gráfica 4.3), pero los equipos medianos se encuentran muy cerca en cuestión de volumen. Aunque en conjunto los refrigeradores pequeños representan el aporte de los medianos y grandes juntos. Las tendencias de comportamiento para los 3 grupos son muy similares, lo cual quiere decir que las aproximaciones hechas por el Modelo III son bastante aceptables, aunque hay que considerar que muchas de las viviendas ya cuentan con refrigerador, o no lo cambiarán en mucho tiempo, mientras que otros hogares que aun no tienen ningún equipo, seguirán así por mucho tiempo.



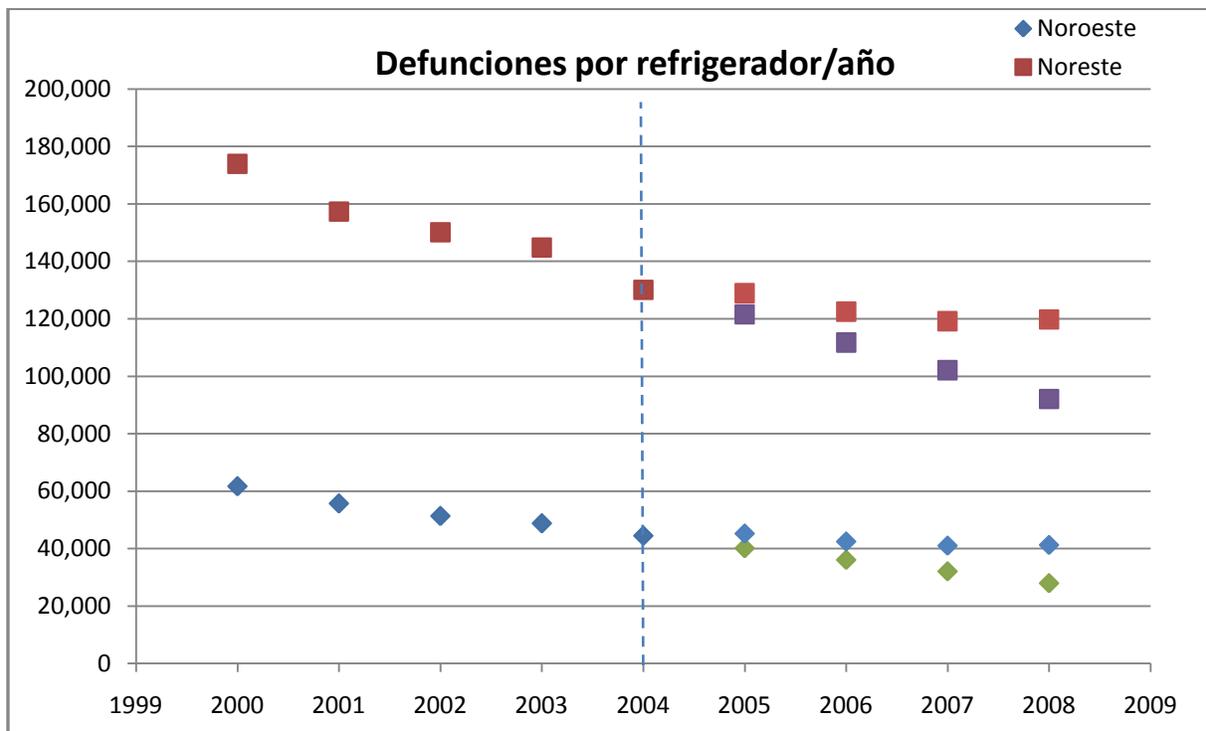
Gráfica 4.3. Total de viviendas con servicio eléctrico con refrigerador por tamaño, datos reales y tendencias ajustadas con el Modelo III

Fuente: Elaboración propia

Además, es importante tener en cuenta el crecimiento de la vivienda en relación a los nuevos refrigeradores que entran al mercado, y los que se sustituyen por tener una baja eficiencia energética, ya que podría darse el remoto caso de tener ahora más

refrigeradores funcionando que viviendas que lo requieran. En general los comportamientos y aproximaciones describen las tendencias que se esperaban, ya que con el paso del tiempo, los hogares tienen que ir evolucionando al ritmo del crecimiento de la población, y se tendrán que satisfacer todas las necesidades básicas, si se quieren implementar políticas de carácter social en beneficio de la población de todas las regiones del país.

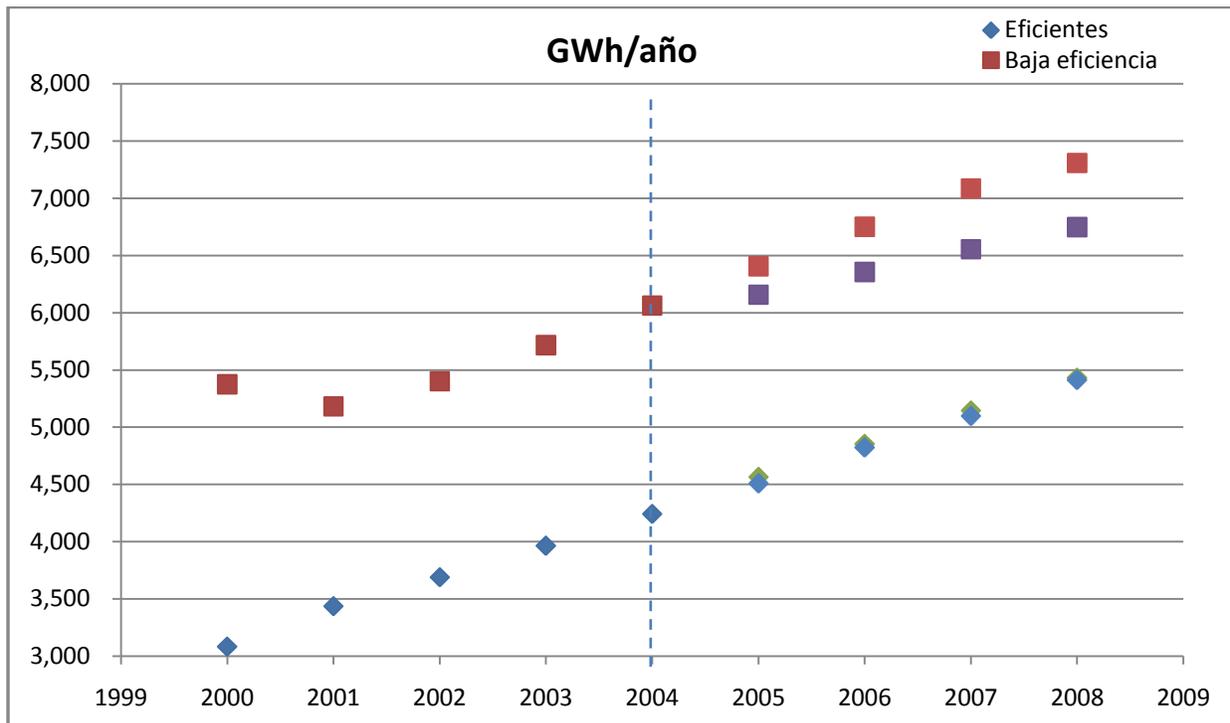
Las defunciones por enfermedades estomacales como se muestran en la gráfica 4.4 presentan una tendencia real a la baja de manera general, y por parte de la aproximación del Modelo IV, se observa que ésta mantendrá el comportamiento, pero con un ritmo de decrecimiento más rápido con el paso del tiempo. Aunque por otra parte, es necesario apuntar que actualmente no existen indicadores que relacionen las defunciones por enfermedades estomacales con la falta de un refrigerador en la vivienda; por ello la importancia de desarrollar el Modelo IV, que integra la información con la que se cuenta y predice los comportamientos que le competen al estudio. Además de la misma gráfica se tiene las defunciones en la zona norte del país son bastante bajas, por lo que se pensaría que los niveles de salud son óptimos, pero eso a ciencia cierta no es verdad, ya que hay una carencia en el parque de refrigeradores domésticos, por lo que las defunciones reportadas en este indicador solo cuantifican los viviendas que tiene equipos y como consecuencia son menores a comparación de las demás regiones.



Gráfica 4.4. Defunciones por enfermedades estomacales por vivienda con refrigerador por región, datos reales y tendencias ajustadas con el Modelo IV

Fuente: Elaboración propia

Para la categoría tecnológica se encontró que los refrigeradores eficientes tienen las mismas tendencias, tanto real como aproximada por el Modelo V (Gráfica 4.5), lo cual es de esperarse ya que la eficiencia de los equipos que actualmente se encuentran operando en el mercado, difícilmente va a cambiar, si se considera que se utilizan adecuadamente; o en su defecto las variaciones serán mínimas a nivel global. Mientras que para los refrigeradores de baja eficiencia se observa que la tendencia real en el consumo de energía es mayor a la estimada por el Modelo V, debido principalmente a la forma de cómo se constituyó esta división de equipos, ya que con el paso del tiempo, refrigeradores que se consideran eficientes, pasan a ser de baja eficiencia, por lo que siempre estará este indicador a la alza.



Gráfica 4.5. Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por eficiencia, datos reales y tendencias ajustadas con el Modelo V

Fuente: Elaboración propia

Por lo anterior, resulta importante tomar como referencia a este indicador complejo, ya que involucra de forma directa la sustitución de los refrigeradores de baja eficiencia en función de la demanda de viviendas y las regiones más representativas del país. Además, esta información servirá más adelante para constituir un conjunto de políticas energéticas que se adecuan a las necesidades planteadas en la presente investigación.

En general, en todas las gráficas antes descritas se puede observar que los valores obtenidos por medio de los Modelos, se aproximan a los comportamientos de los indicadores complejos, lo cual quiere decir que éstos se formaron a través de las características descritas en el capítulo 3, pero además tienen la cualidad de irse

acercando al valor ideal con el transcurso del tiempo, es decir que generan información relacionada con el indicador en función de las políticas que lo estén afectando y así donde se desee implementar.

Con el desarrollo y la validación de los escenarios base, junto con la propuesta de políticas energéticas relacionadas con el uso de energía de los refrigeradores domésticos, se pueden proceder a integrar toda la información hasta el momento generada por medio de un proceso de extracción de datos, el cual es eje principal para poder desarrollar la metodología planteada en los objetivos del presente trabajo de investigación. Esto con el fin de llegar a plantear una estructura jerárquica que involucre a las categorías descritas anteriormente, y que pueda ser la base para la generación de escenarios prospectivos en donde se consideren las premisas de llevar a cabo un cambio en las políticas que rigen actualmente el sector residencial en México, o mantener la tendencia de las mismas.

#### 4.7. Resumen

En este capítulo se seleccionaron una serie de políticas que se utilizan para analizar los factores que afectan al consumo de energía de los refrigeradores; y así identificar cuáles de éstas se pueden cambiar, mejorar, o en su defecto eliminar, con el propósito de estimar un potencial de ahorro de energía en el sector residencial del país. Las políticas seleccionadas, se nombraron “Energéticas” y tienen la capacidad de incluir las políticas públicas del país, y a su vez involucrar a las categorías económica, social, ambiental, tecnológica y de salud anteriormente descritas. El criterio que se utilizó para seleccionar las políticas fue el hecho de que puede corregir una falla y con ello poder tomar una decisión a nivel gubernamental para satisfacer demandas específicas.

También se estableció una propuesta de política energética con la que se pudieran cumplir con parte de los objetivos del trabajo de investigación. Dicha propuesta engloba desde el total del parque de refrigeradores domésticos, hasta el uso de éstos por región del país, además considera el empleo de equipos eficientes de acuerdo con las necesidades de cada vivienda; y la sustitución acelerada de los equipos poco eficientes. Para poner en marcha la nueva política relacionada con la refrigeración doméstica; se realizó una agrupación de los indicadores complejos, a través de un macro para cada categoría, tomando en cuenta la dependencia que existe entre indicadores; y el objetivo de llevar a cabo la estructurar piramidal de jerarquización.

Teniendo agrupados a los indicadores complejos y definidos los macros, se procedió a realizar la validación de los escenarios base, primeramente en un intervalo de tiempo entre 2005 y 2008; y posteriormente para los años 2000 a 2008, donde se integró toda la información hasta el momento generada. Posteriormente se presentó una serie de ejemplos de aplicación de los escenarios base, en donde se observan las tendencias reales de los indicadores complejos en un intervalo de tiempo determinado.

## Capítulo V

### Metodología para el Desarrollo de Políticas Energéticas en México

#### 5.1. Introducción

Algo peor que no tener información disponible es tener mucha y no saber qué hacer con ella. Por ello el interés de desarrollar una forma de integrarla, seleccionarla y depurarla, para poder generar escenarios, pronósticos y reportes que apoyen a la toma de decisiones, relacionadas con el uso eficiente de la energía del parque de refrigeradores domésticos en México. La clave para esto es tener la información adecuada; ya que uno de sus mayores beneficios es la posibilidad de utilizarla en ciertos casos específicos. En la actualidad hay varias aplicaciones<sup>84</sup> referidas al manejo de datos, las cuales pueden ser utilizadas en diferentes áreas, tales como, ventas, finanzas, desarrollo tecnológico, vigilancia tecnológica entre otras aplicaciones; y proveen al usuario un acceso rápido y fácil a información útil y valiosa.

Una de las formas más empleadas para el manejo de información es la Minería de Datos<sup>85</sup>, que se conoce como el proceso de extracción de conocimiento a partir de datos. Este proceso consta de varias fases e incorpora diferentes técnicas de los campos de conocimiento, tales como la estadística, las bases de datos, los sistemas de toma de decisiones, modelos matemáticos, la gestión de la información y pronostica a través del tiempo los comportamientos de la información que se está analizando. Por ello, los datos pasan de ser un producto a una materia prima que hay que explotar para obtener un verdadero resultado satisfactorio.

En el presente capítulo se llevará a cabo una adaptación de los procesos de extracción de información con los datos que se dispone, esto con el fin de implementar una metodología para desarrollar un conjunto de escenarios prospectivos vinculados con el uso de los refrigeradores domésticos y su eficiencia, además de integrar una pirámide de jerarquización en donde se observen los pesos porcentuales que aportan cada una de las categorías anteriormente descritas.

Para ello, previamente se seleccionaron los indicadores más representativos de cada categoría, los cuales servirán para proponer un modelo matemático que describa el comportamiento de la información a través del tiempo. Más adelante se recopilará toda la información y se trabajará por medio de cuadros de mando<sup>86</sup> y mapeos gráficos<sup>87</sup>; con la finalidad de hacer un análisis de resultados que se pueda modificar por medio de elementos de ponderación previamente definidos. Esta forma de estudiar la información es más sencilla de interpretar ya que está basada en barras y colores representativos.

---

<sup>84</sup> <http://www.emea.apesoft.com/desde-oracle/04LPgh04de09.pdf>

<sup>85</sup> Hernández, J. Ramírez, M. Ferri, C. (2007). Introducción a la minería de datos. 1era Edición Pearson Prentice Hall. Madrid, España.

<sup>86</sup> Kaplan, Norton. (1997). Strategy Maps. San Francisco EUA. Ed. Morgan Kaufmann.

<sup>87</sup> [http://ardent.mit.edu/real\\_options/RO\\_current\\_lectures/SPANISH\\_multiattribute\\_utility.pdf](http://ardent.mit.edu/real_options/RO_current_lectures/SPANISH_multiattribute_utility.pdf)

La información resultante de la investigación se utilizará para proponer, sustentar y validar una propuesta de nueva política energética para el sector residencial, basada en el concepto de jerarquías de categorías, que están fuertemente vinculadas con las políticas públicas del país. Y por último, con la minería de datos se planteará un algoritmo que permita esbozar escenarios prospectivos que contengan la propuesta de llevar a cabo cambios de políticas públicas ya establecidas, o en su defecto conservarlas por un periodo de tiempo indefinido.

## 5.2. Proceso de extracción de conocimiento

Dentro de la extracción de conocimientos, existe el concepto de minería de datos, que es el proceso de extraer conocimiento útil y comprensible, previamente desconocido, desde grandes cantidades de datos almacenados en distintos formatos<sup>88</sup>. Es decir, la tarea fundamental de la minería de datos es encontrar modelos adecuados a partir de los datos. Para que este proceso sea efectivo debe de ser automático o semi-automático y el uso de los patrones descubiertos deben de ayudar a tomar decisiones seguras y adecuadas. La figura 5.1 muestra que el proceso de extracción de datos es interactivo e iterativo, ya que la salida de alguna de las fases puede hacer volver a pasos anteriores y porque casi siempre son necesarias varias iteraciones para obtener un mejor resultado.

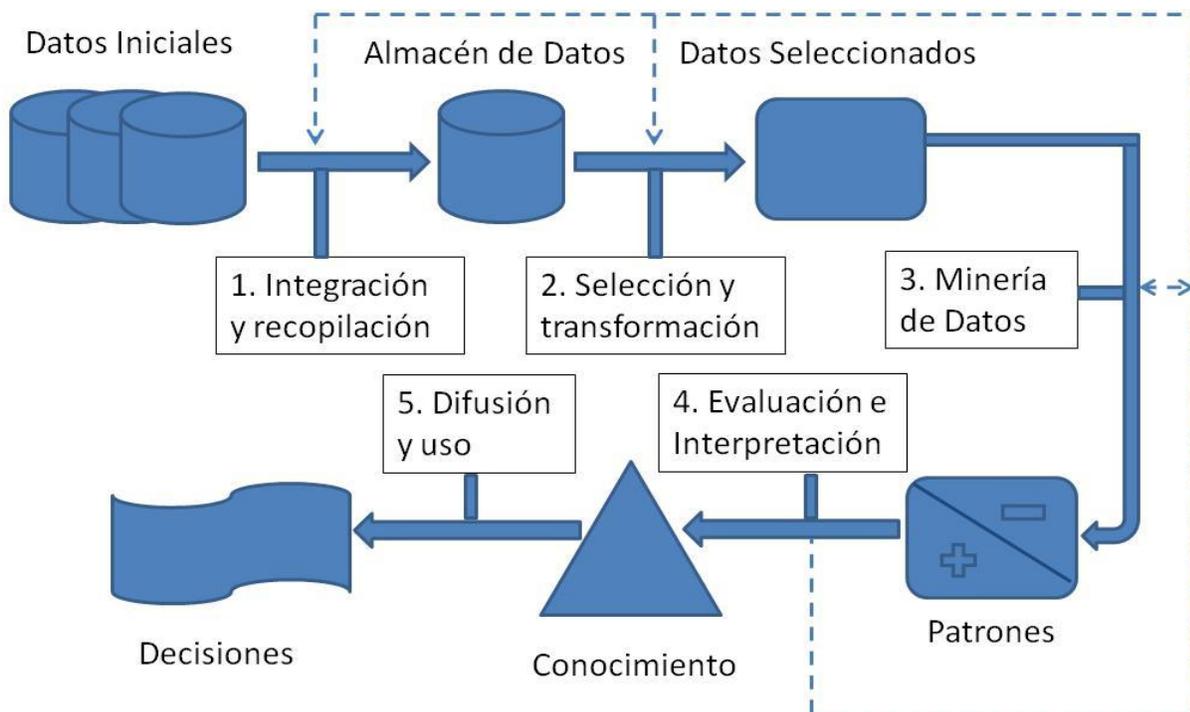


Figura 5.1. Fases de proceso de extracción conocimiento.

Fuente: Hernández, J. (2007)

<sup>88</sup> Witten, Frank. (2000). Data mining. Practical machine learning tools and techniques with java implementations, Morgan Kaufmann Publishers.

El proceso se organiza en cinco fases:

1. Se efectúa la integración y recopilación de datos, en base a las fuentes de información disponible.
2. Se transforman todos los datos a un formato común, mediante un almacén de información que permita unificar de manera operativa toda la información recolectada, detectando y corrigiendo las inconsistencias.
3. Se decide cuál es la tarea a realizar (clasificar, agrupar, etc.) y se elige el método que se va a usar.
4. En la etapa de evaluación e interpretación se valoran los patrones propuestos y se analizan por los expertos; si es necesario se vuelve a las fases anteriores para una nueva iteración buscando el objetivo de cálculo.
5. Para la difusión se hace uso del nuevo conocimiento y se involucra a todos los posibles usuarios.

Además de las fases descritas, frecuentemente se incluye una etapa previa de análisis de las necesidades de la organización y definición del problema, en donde se establecen los objetivos de minería de datos. El reto en esta parte de la investigación es hacer una adaptación de la metodología de extracción de conocimiento de Hernández (2007), para poder trabajar con la información con la que se cuenta, además de considerar el problema de datos ausentes, o volatilidad de los mismos. Para tal efecto se tiene que analizar cuidadosamente la información y proponer el desarrollo de una nueva metodología que garantice la fiabilidad de la información y que sea bastante fácil cambiarla y adaptarla para futuras investigaciones.

Una de las principales características de la minería de datos es la existencia de un esquema asociado, es decir, los datos deben seguir una estructura (en función de la categoría a la que pertenecen). Aunque las bases de datos relacionadas son la fuente de datos para la mayoría de aplicaciones de minería de datos, muchas técnicas no son capaces de trabajar con toda la información, sino que solo tratan con una sola tabla a la vez, por lo tanto la presentación tabular o también llamada atributo-valor es la que se utilizará para desarrollar la propuesta metodológica que servirá para proponer y sustentar una nueva política energética para los refrigeradores domésticos.

En dicha propuesta de metodología, la información que se tiene es del tipo relacional, la cual es una colección de tablas que constan de un conjunto de atributos (columnas) y puede contener un gran número de filas. Cada fila representa a un Indicador Complejo, que posee una clave o nomenclatura única que lo identifica. A continuación se presenta la propuesta de metodología para cumplir con los objetivos de desarrollar una nueva política energética. (Figura 5.2).

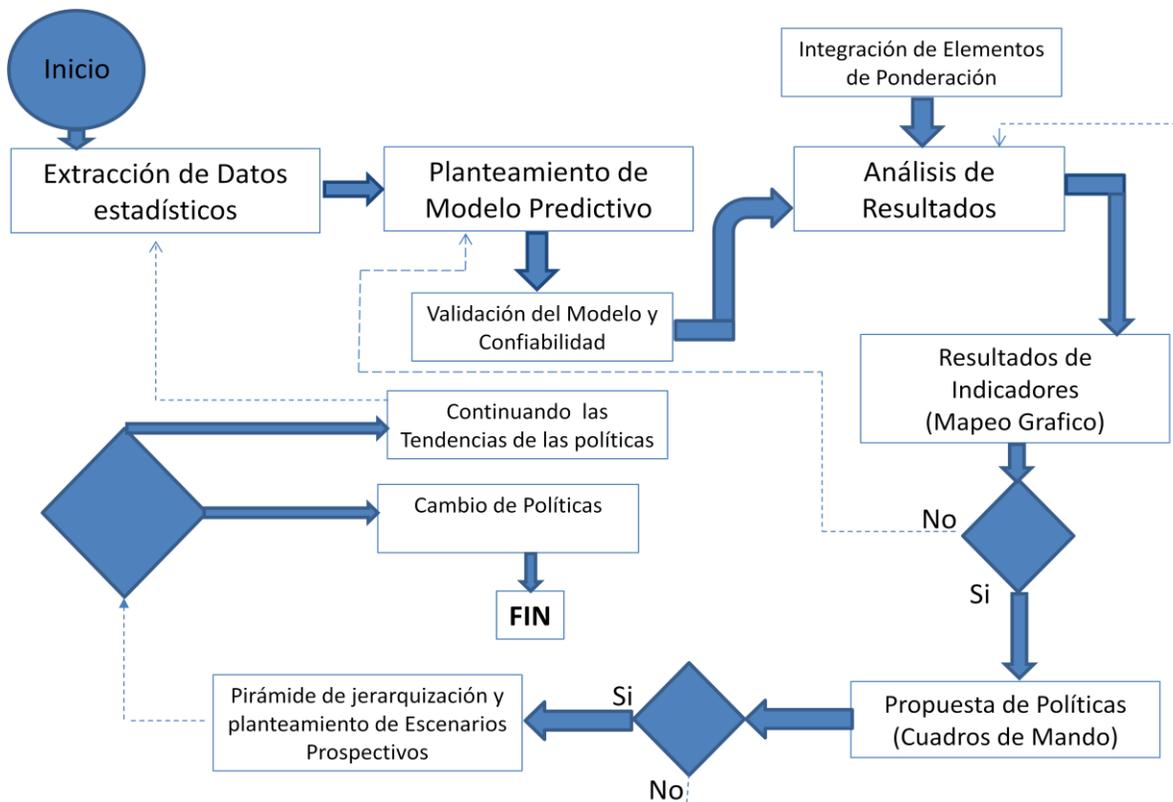


Figura 5.2. Adaptación del Proceso de Extracción de Conocimiento  
Fuente: Elaboración propia con información de Hernández, J. (2007)

La descripción de cada uno de los elementos que integran la metodología de la figura 5.2 se presenta en seguida:

Proceso	Descripción de atributos
Extracción de datos estadísticos	Estos datos manejan diversos indicadores de carácter económico, social, ambiental, tecnológico y de salud, obtenidos de diversas fuentes.
Planteamiento del modelo predictivo	Formas de organizar el planteamiento predictivo con un modelo de ecuaciones lineales, con el objetivo de tener los mejores valores para los elementos de ponderación
Validación del modelo y confiabilidad	El objetivo de este proceso es validar los diversos modelos que permiten asegurar la confiabilidad de cálculo para futuros escenarios, por medio de sus diversos parámetros matemáticos

<p>Análisis de resultados</p>	<p>El análisis de resultados plantea de lo siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>I. Integración de los elementos de ponderación que permiten plantear los escenarios más importantes para el estudio.</li> <li>II. El mapeo grafico que permite permear todos los escenarios posibles que se están dando y pronosticar cambios en las políticas propuestas.</li> <li>III. Propuesta de nueva política que permiten ver los indicadores más trascendentales en las diversas categorías.</li> <li>IV. Pirámide de jerarquización que ordena las diversas categorías considerando los escenarios establecidos.</li> </ol>
<p>Planteamiento de escenarios prospectivos</p>	<p>Esto permite analizar las políticas energéticas y dar la pauta para:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>I. Continuar con las tendencias de las políticas actuales</li> <li>II. Cambios de políticas</li> </ol>

Para llevar a cabo este proceso es importante conocer los tipos de atributos con los que se cuenta, esto ya que aun cuando en bases de datos existen muchos tipos de elementos que las componen, desde el punto de vista de las técnicas de minería de datos más habituales, interesa distinguir solo dos tipos, numéricos y categóricos. Los cuales se describen a continuación:

- Los atributos numéricos contienen valores enteros o reales. Como por ejemplo total de viviendas, número de refrigeradores, consumo de energía, etc.
- Los atributos categóricos toman valores en un conjunto finito y preestablecido, por ejemplo categoría económica, ambiental, social, de salud o tecnológica.

Existen varias formas de modelar este tipo de datos y cada una de ellas determina el tipo de técnica que puede usarse, para el caso de estudio se empleará el modelo predictivo el cual pretende estimar valores futuros o desconocidos de variables de interés, que se conocerán como objetivo o dependientes, usando otros elementos de la base de datos, que se llamarán variables independientes o predictivas, por ejemplo el modelo predictivo al cual se quiere llegar, tendrá la capacidad de estimar la demanda de nuevos refrigeradores domésticos en función del consumo de energía y la evolución de la vivienda en México.

De acuerdo con la propuesta metodológica presentada en la figura 5.2, primeramente se tiene que proponer un modelo matemático que tenga la capacidad de predecir cuales serán los comportamientos de cada uno de los indicadores complejos que están vinculados con los refrigeradores domésticos. Con los resultados de esta información se agregarán elementos de ponderación vinculados con las políticas energéticas para establecer un conjunto de escenarios futuros, en donde se consideran o no cambios en las tendencias de dichas políticas; además de proponer la estructura piramidal de jerarquización para alcanzar el objetivo de establecer una nueva política energética para la refrigeración doméstica en México.

A continuación, se describe el proceso de modelización desarrollado para cada una de las categorías, en donde se obtendrán las ecuaciones predictivas para cada uno de los indicadores complejos; más adelante se emplearán como base para los cuadros de mando y el mapeo gráfico, y posteriormente incluirán a los elementos de ponderación que sirven para priorizar las políticas energéticas descritas en el capítulo IV.

### 5.3. Modelización Estadística Predictiva

El objetivo de la modelización estadística consiste en explicar el comportamiento de una variable a partir del conocimiento de otras. Para el presente estudio el interés se basa en la explicación de los indicadores complejos a partir del desarrollo de regresiones lineales simples para cada una de las categorías planteadas anteriormente. La recta de regresión se determina utilizando un método matemático denominado principio de mínimos cuadrados; este procedimiento origina lo que comúnmente se conoce como la recta de mejor ajuste. La forma general de la ecuación de regresión es:

$$Y' = a + bX \quad (5.1)$$

Donde:

$Y'$  = El valor pronosticado de la variable  $Y$  para un valor seleccionado de  $X$ .

$a$  = La ordenada de la intersección con el eje  $Y$ , es decir, el valor estimado de  $Y$  cuando  $X = 0$ . Dicho de otra forma, corresponde al valor estimado de  $Y$ , donde la recta de regresión cruza el eje  $Y$  cuando  $X = 0$ .

$b$  = La pendiente de la recta, o el cambio promedio en  $Y'$  por unidad de cambio (incremento o decremento) en la variable independiente  $X$ .

$X$  = Cualquier valor seleccionado de la variable independiente.

De modo que en general, los valores de  $a$  y  $b$  en la ecuación de regresión se denominan coeficientes de regresión estimados o simplemente coeficientes de regresión. Las ecuaciones para  $a$  y  $b$  son:

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (5.2)$$

$b$  es la pendiente de la línea de regresión.

$$a = \frac{\sum Y}{n} - b \frac{\sum X}{n} \quad (5.3)$$

a es el punto donde se intercepta con el eje Y

Donde:

X = Valor de la variable independiente.

Y = Valor de la variable dependiente.

n = Número de elementos en la muestra.

De acuerdo con lo anterior, lo que corresponde ahora es desarrollar las ecuaciones lineales que describen los comportamientos de los indicadores complejos de cada una de las categorías, y posteriormente llevar a cabo su validación (Tabla 5.1).

**Tabla 5.1. Ecuaciones resultantes de las regresiones lineales**

Categoría	Indicador complejo	Ecuaciones
Económica	Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por región	$Y_1 = 134 X - 267,793$ $Y_2 = 169 X - 338,013$ $Y_3 = 252 X - 503,125$ $Y_4 = 346 X - 691,131$ $Y_5 = 123 X - 246,192$
	Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por eficiencia	$Y_6 = 610 X - 1,218,825$ $Y_7 = 402 X - 802,869$
	Costo promedio de los refrigeradores por tamaño	$Y_8 = 163 X - 322,727$ $Y_9 = 107 X - 209,066$ $Y_{10} = 186 X - 363,155$
	Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por estación del año	$Y_{11} = 308 X - 616,071$ $Y_{12} = 268 X - 535,623$ $Y_{13} = 232 X - 463,710$ $Y_{14} = 210 X - 420,454$
Ambiental	Emisiones de CO2 por refrigeración doméstica por región	$Y_{15} = -0.087 X + 176.3$ $Y_{16} = -0.128 X + 259.3$ $Y_{17} = -0.156 X + 314.9$ $Y_{18} = -0.293 X + 589.9$ $Y_{19} = -0.147 X + 297.3$
	Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por región	$Y_{20} = 0.158 X - 314.1$ $Y_{21} = 0.191 X - 382.1$ $Y_{22} = 0.299 X - 595.8$ $Y_{23} = 0.380 X - 757.4$ $Y_{24} = 0.119 X - 236.4$
	Emisiones de CO2 por refrigeración doméstica por estación del año	$Y_{25} = -0.221 X + 444.3$ $Y_{26} = -0.207 X + 416.9$ $Y_{27} = -0.193 X + 390.4$ $Y_{28} = -0.173 X + 348.6$
	Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por estación del año	$Y_{29} = 0.378 X - 753.6$ $Y_{30} = 0.323 X - 643.7$ $Y_{31} = 0.274 X - 546.4$ $Y_{32} = 0.249 X - 497.3$
	Emisiones de CO2 por refrigeración	$Y_{33} = -0.438 X + 881.6$

	doméstica por tamaño	$Y_{34} = -0.270 X + 545.9$ $Y_{35} = -0.085 X + 173.4$
	Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por tamaño	$Y_{36} = 0.538 X - 1,071$ $Y_{37} = 0.526 X - 1,048$ $Y_{38} = 0.206 X - 412.54$
Social	Total de viviendas con servicio eléctrico por región	$Y_{39} = 23,230 X - 44,328,464$ $Y_{40} = 40,604 X - 77,502,172$ $Y_{41} = 139,308 X - 23,863,392$ $Y_{42} = 199,899 X - 393,195,307$ $Y_{43} = 213,504 X - 423,648,419$
	Total de viviendas con electricidad sin refrigerador por región	$Y_{44} = -65,676 X + 131,946,149$ $Y_{45} = -114,072 X + 229,174,474$ $Y_{46} = -133,332 X + 267,990,102$ $Y_{47} = -184,286 X + 376,416,200$ $Y_{48} = -77,239 X + 155,424,611$
	Total de viviendas con servicio eléctrico con refrigerador por tamaño	$Y_{49} = 157,061 X - 303,933,162$ $Y_{50} = 281,807 X - 553,832,934$ $Y_{51} = 128,821 X - 254,970,463$
Salud	Defunciones por enfermedades estomacales por vivienda con refrigerador por región	$Y_{52} = 4,087 X + 8,234,064$ $Y_{53} = -9,898 X + 19,967,615$ $Y_{54} = -12,850 X + 25,977,837$ $Y_{55} = -18,886 X + 38,198,459$ $Y_{56} = -3,515 X + 7,213,407$
	Ventas de refrigeradores por región	$Y_{57} = -746 X + 1,619,491$ $Y_{58} = 16,282 X - 32,362,011$ $Y_{59} = 1,192 X - 2,098,928$ $Y_{60} = 2,662 X - 4,781,456$ $Y_{61} = 417 X - 494,325$
	Ventas de refrigeradores por tamaño	$Y_{62} = 780 X - 820,671$ $Y_{63} = 11,923 X - 23,281,340$ $Y_{64} = 6,262 X - 12,329,579$
Tecnológico	Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por región	$Y_{65} = 37.84 X - 74,837$ $Y_{66} = 58.75 X - 116,011$ $Y_{67} = 115.7 X - 229,453$ $Y_{68} = 130.4 X - 258,679$ $Y_{69} = 160.2 X - 318,943$
	Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por estación del año	$Y_{70} = 142.4 X - 282,543$ $Y_{71} = 139.3 X - 276,465$ $Y_{72} = 111.1 X - 220,466$ $Y_{73} = 109.5 X - 217,255$
	Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por eficiencia	$Y_{74} = 291.1 X - 579,083$ $Y_{75} = 199.5 X - 393,829$
	Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por tamaño	$Y_{76} = 143.6 X - 283,778$ $Y_{77} = 208.6 X - 414,102$ $Y_{78} = 138.5 X - 275,548$
Total de Ecuaciones		78

Fuente: Elaboración propia con apoyo del Software MiniTAB y Hojas de Cálculo

### 5.3.1. Error estándar de estimación

Obtener una predicción perfecta para los indicadores complejos del presente trabajo de investigación es prácticamente imposible, por lo que se necesita una medida que indique que tan preciso es el pronóstico de Y con base en X o, por el contrario, cuán inexacta podría ser la predicción. A esta medida se le denomina error estándar de estimación, el cual se representa por  $S_{y \cdot x}$ , y es el mismo concepto que el de la desviación estándar. Este se determina aplicando la siguiente ecuación:

$$S_{y \cdot x} = \sqrt{\frac{\sum(Y - Y_i)^2}{n - 2}} \quad (5.4)$$

La desviación estándar se basa en los cuadrados de las desviaciones respecto a la medida, mientras que el error estándar de estimación se sustenta en los cuadrados de las desviaciones respecto a la línea de regresión. Si la suma de los cuadrados de las desviaciones es pequeña, esto significa que la línea de regresión es representativa de los datos. Si los cuadrados de las desviaciones son grandes, entonces la recta de regresión puede no representar a los datos. La ecuación (5.4) sirve para mostrar la semejanza que existe, en concepto y cálculo, entre la desviación estándar y el error estándar de estimación y los resultados para cada una de las ecuaciones de la tabla anterior se muestran en la tabla 5.2.

**Tabla 5.2. Estimación de errores estándar por ecuación**

Categoría	Indicador complejo	Ecuación	Errores estándar de estimación
Económica	Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por región	Y <sub>1</sub>	9.4
		Y <sub>2</sub>	8.7
		Y <sub>3</sub>	8.3
		Y <sub>4</sub>	6.4
		Y <sub>5</sub>	6.3
	Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por eficiencia	Y <sub>6</sub>	6.5
		Y <sub>7</sub>	7.8
	Costo promedio de los refrigeradores por tamaño	Y <sub>8</sub>	11.2
		Y <sub>9</sub>	8.2
	Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por estación del año	Y <sub>10</sub>	3.8
Y <sub>11</sub>		8.1	
Y <sub>12</sub>		7.5	
Y <sub>13</sub>		6.4	
Ambiental	Emisiones de CO <sub>2</sub> por refrigeración doméstica por región	Y <sub>14</sub>	7.6
		Y <sub>15</sub>	14.2
		Y <sub>16</sub>	7.2
		Y <sub>17</sub>	18.4
		Y <sub>18</sub>	1.1
	Y <sub>19</sub>	22.3	
	Generación de desechos sólidos por sustitución de	Y <sub>20</sub>	20.1

	refrigeradores por región	Y <sub>21</sub>	19.4
		Y <sub>22</sub>	21.4
		Y <sub>23</sub>	17.3
		Y <sub>24</sub>	14.5
	Emisiones de CO <sub>2</sub> por refrigeración doméstica por estación del año	Y <sub>25</sub>	8.4
		Y <sub>26</sub>	3.8
		Y <sub>27</sub>	3.7
		Y <sub>28</sub>	1.4
	Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por estación del año	Y <sub>29</sub>	23.2
		Y <sub>30</sub>	22.1
Y <sub>31</sub>		20.5	
Y <sub>32</sub>		21.3	
Emisiones de CO <sub>2</sub> por refrigeración doméstica por tamaño	Y <sub>33</sub>	7.4	
	Y <sub>34</sub>	6.3	
	Y <sub>35</sub>	10.2	
Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por tamaño	Y <sub>36</sub>	17.3	
	Y <sub>37</sub>	21.5	
	Y <sub>38</sub>	23.4	
Social	Total de viviendas con servicio eléctrico por región	Y <sub>39</sub>	3.8
		Y <sub>40</sub>	4.6
		Y <sub>41</sub>	1.4
		Y <sub>42</sub>	1.6
		Y <sub>43</sub>	4.3
	Total de viviendas con electricidad sin refrigerador por región	Y <sub>44</sub>	50.8
		Y <sub>45</sub>	51.2
		Y <sub>46</sub>	22.4
		Y <sub>47</sub>	21.4
Total de viviendas con servicio eléctrico con refrigerador por tamaño	Y <sub>48</sub>	19.3	
	Y <sub>49</sub>	1.3	
Salud	Defunciones por enfermedades estomacales por vivienda con refrigerador por región	Y <sub>50</sub>	3.7
		Y <sub>51</sub>	1.5
		Y <sub>52</sub>	32.2
		Y <sub>53</sub>	23.8
		Y <sub>54</sub>	20.6
	Ventas de refrigeradores por región	Y <sub>55</sub>	19.8
		Y <sub>56</sub>	7.3
		Y <sub>57</sub>	20.1
		Y <sub>58</sub>	5.2
		Y <sub>59</sub>	13.8
Ventas de refrigeradores por tamaño	Y <sub>60</sub>	12.7	
	Y <sub>61</sub>	16.5	
	Y <sub>62</sub>	13.5	
Tecnológico	Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por región	Y <sub>63</sub>	14.4
		Y <sub>64</sub>	12.3
		Y <sub>65</sub>	5.6
		Y <sub>66</sub>	6.5
	Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por estación del año	Y <sub>67</sub>	4.9
		Y <sub>68</sub>	4.3
		Y <sub>69</sub>	1.8
		Y <sub>70</sub>	4.1
		Y <sub>71</sub>	3.8

		Y <sub>72</sub>	4.3
		Y <sub>73</sub>	3.5
	Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por eficiencia	Y <sub>74</sub>	1.7
		Y <sub>75</sub>	8.3
	Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por tamaño	Y <sub>76</sub>	3.9
		Y <sub>77</sub>	6.4
		Y <sub>78</sub>	3.2

Fuente: Elaboración propia con apoyo del Software MiniTAB y Hojas de Cálculo

En la tabla 5.2 se puede observar que el cálculo de los errores estándar de estimación, y de acuerdo con los resultados encontrados se observa que todos los indicadores complejos son importantes para explicar los comportamientos de los indicadores macro; además, analizando los rangos de error, éstos son bastante aceptables, para las categorías, económica, tecnológica y ambiental, mientras que para la parte social y de salud, existen pocos datos fuera del rango de aceptación, los cuales más adelante en el proceso de elaboración de escenarios prospectivos, no afecta de forma importante. Lo que corresponde ahora es validar las ecuaciones con base en su coeficiente de determinación.

### 5.3.2. Coeficiente de determinación y validación del modelo

El coeficiente de determinación se obtiene elevando al cuadrado el coeficiente de correlación. La variación total en Y puede subdividirse en variación no explicada y explicada y al dividir ésta entre la total se obtiene el coeficiente de determinación  $r^2$ , que es una relación proporcional.

$$r^2 = \frac{\sum(Y-\bar{Y})^2 - \sum(Y-Y')^2}{\sum(Y-\bar{Y})^2} \quad (5.5)$$

El resultado del coeficiente de determinación corresponde a un porcentaje. Sin embargo valores grandes de  $r^2$  no implican necesariamente un buen ajuste de un modelo, ya que al aumentar una variable independiente al modelo,  $r^2$  siempre se incrementa, sin importar si la variable contribuye o no al modelo. Por ello, se procedió a calcular los coeficientes de error, en función de los valores obtenidos y presentados en las tablas 5.1 y 5.2 (Tabla 5.3).

**Tabla 5.3. Coeficientes de determinación según modelo ajustado**

Coeficiente	Categoría					
	Económica	Ambiental		Social	Salud	Tecnológica
$r^2$	0.804	0.715	0.871	0.684	0.721	0.765
	0.901	0.775	0.841	0.711	0.849	0.855
	0.788	0.785	0.846	0.759	0.747	0.876
	0.844	0.843	0.788	0.811	0.698	0.899
	0.904	0.895	0.854	0.758	0.752	0.909

	0.798	0.904	0.822	0.885	0.819	0.947
	0.885	0.917	0.829	0.688	0.857	0.944
	0.822	0.897	0.902	0.692	0.778	0.907
	0.796	0.854	0.921	0.714	0.685	0.774
	0.699	0.941	0.875	0.778	0.687	0.863
	0.847	0.877	0.888	0.857	0.687	0.857
	0.755	0.847	0.884	0.778	0.871	0.898
	0.788			0.871	0.687	0.787
	0.857					0.847

Fuente: Elaboración propia con apoyo del Software MiniTAB y Hojas de Cálculo

De la tabla 5.3 se observa que para la categoría económica se tiene un promedio en general de 82% de confiabilidad, para la ambiental de 85%, la social con un 76%, mientras que la de salud y tecnológica con un 75 y 86% respectivamente; lo cual se ajusta muy bien a los datos, ya que explica de forma conjunta el 81% de la variación de las variables dependientes. Por parte de la categoría Tecnológica, su desarrollo experimental sirvió de mucho para determinar aceptablemente la variación total de las variables dependientes, dando como resultado el mayor nivel de confianza de todos los modelos.

En la categoría Social y de Salud, se presentó un grado de confiabilidad por debajo del 80%, lo cual según el esquema de minería de datos<sup>89</sup>, es un rango de confianza admisible, aunque estos modelos deben tomarse con reserva, ya que existe la remota posibilidad de cometer errores con la interpretación de datos. Con la validación de las ecuaciones que describen los comportamientos de los indicadores independientes, se puede proceder a la elaboración de los mapeos gráficos y el cuadro de mando, en donde se integraran elementos de ponderación que validan la aportación de las políticas energéticas y sirven para efectuar un análisis a detalle de los resultados obtenidos.

#### 5.4. Análisis de Resultados

La integración de la pirámide de jerarquización, la toma de decisiones y el planteamiento de escenarios prospectivos es la culminación del presente trabajo de investigación, el cual se ha ido especializando cada vez más y pasa de ser un arte creativo y basado en la intuición, a ser una ciencia, con procesos repetibles y medibles. Los resultados están basados esencialmente en la integración de la información y su comportamiento, actualmente y durante los últimos años. Aunque cabe señalar que algunas veces se presentan problemas en la interpretación de resultados por no poder encontrar un rumbo hacia un destino elegido.

Debido a esto, es que se requiere elaborar un Cuadro de Mando Integral<sup>90</sup>, el cual es un instrumento de gestión que resuelve de forma directa este problema ejecutando el

<sup>89</sup> Hernández, J (2007). *Op. Cit.*

<sup>90</sup> Kaplan, Norton. (1997). *Op. Cit.*

camino correcto. El cuadro ya no es sólo un conjunto de indicadores que muestran los síntomas vitales del estudio, sino un grupo de cuadros con indicadores, personalizados a varios niveles, que pueden comunicar cuáles son las prioridades marcadas por las políticas energéticas que lo integran.

Por otra parte, los cuadros de mando son una herramienta para la planeación de escenarios prospectivos, puesto que para traducir operativamente una estrategia o política, deben alcanzar niveles inferiores (indicadores simples), ya que son éstos los que ejecutan los procesos y miden el rendimiento de las prospectivas desarrolladas. A continuación se presenta la propuesta de integración de cuadros de mando para el presente estudio.

#### 5.4.1. Cuadros de mando

La propuesta de Cuadro de Mando es representada por una veintena de indicadores complejos desarrollados en los capítulos anteriores, diferentes entre sí para cada una de las categorías que los reciben; aunque cabe señalar que la metodología desarrollada en este estudio tendrá la capacidad de albergar a más indicadores según las necesidades e intereses en políticas futuras.

La intención de agrupar a indicadores complejos dentro de los cuadros de mando es que los usuarios que se relacionen con éstos tengan la capacidad de conocerlos profundamente, saber su comportamiento, mejorar la información que lo integra y contemplar los cambios que pudieran existir a su alrededor. Además, las principales razones para construir un Cuadro de Mando son:

- Medir la ejecución de las estrategias
- Identificar las prioridades
- Equilibrar las diferentes categorías que lo integran
- Efectuar los cambios que se presenten
- Permitir un cambio más dinámico en la política que se está estableciendo

La forma de desarrollar el Cuadro de Mando está basada en enfocar el proyecto de investigación como un todo, con un periodo de desarrollo del mismo largo, por ello se definieron periodos de 1 año, durante 6 años. Aunque este proceso puede ser ampliado por si solo de acuerdo a las necesidades que se puedan presentar. Por lo tanto, la primera parte del cuadro de mando contendrá la información relacionada con los indicadores complejos ubicados por su categoría. Enseguida se presenta la propuesta definitiva de agrupación, hecha por medio de hojas de cálculo (Figura 5.3).

Sector	No	Indicador
Económico	1	Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por región
	2	Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por eficiencia
	3	Costo promedio de los refrigeradores domésticos por tamaño
	4	Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por estación del año
Ambiental	5	Emisiones de CO2 por refrigeración doméstica por región
	6	Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por región
	7	Emisiones de CO2 por refrigeración doméstica por estación del año
	8	Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por estación del año
	9	Emisiones de CO2 por refrigeración doméstica por tamaño
	10	Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por tamaño
Social	11	Total de viviendas con servicio eléctrico por región
	12	Total de viviendas con servicio eléctrico sin refrigerador por región
	13	Total de viviendas con servicio eléctrico con refrigerador por tamaño
Salud	14	Defunciones por enfermedades estomacales por vivienda con refrigerador por región
	15	Ventas de refrigeradores domésticos por región
	16	Ventas de refrigeradores domésticos por tamaño
Tecnológico	17	Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por región
	18	Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por estación del año
	19	Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por eficiencia
	20	Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por tamaño

Figura 5.3. Agrupación de los indicadores dentro del cuadro de mando.  
Fuente: Elaboración propia

Con la agrupación de indicadores presentada en la figura anterior, se garantiza la ejecución de las estrategias y escenarios que se deseen elaborar y llevar a cabo, ya que permite monitorear si las estimaciones van por el rumbo que se quiere, a través del otro elemento de compone el cuadro de mando; el cual es el conjunto de políticas energéticas que están relacionadas con el uso de los refrigeradores en el sector residencial.

Posteriormente se integraran al cuadro de mando el grupo de políticas energéticas, que está formado por 26 elementos desprendidos del estudio y elaborados en el capítulo IV. El propósito de agruparlos a éstos también dentro de los cuadros de mando es para hacer una elección racional y observar cuáles de ellos afectan directamente a los objetivos de la investigación, y poder elaborar un conjunto de acciones que ofrezcan los mayores beneficios; así como el cumplir con lo planteado en documento.

Al agregar las políticas energéticas al cuadro de mando, existe la posibilidad de que algunas sean acertadas y otras equivocadas, por ello es importante hacer un análisis de relación entre política e indicador, esto con el fin de evitar modelos que no aporten nada. Además no solo se pueden agregar políticas al estudio, sino también se pueden quitar con el paso del tiempo. A continuación se muestra un ejemplo de propuesta de cuadro de mando donde se integran los indicadores complejos y las políticas energéticas (Figura 5.4).

		Producto Interno Bruto (PIB)					
No	Indicador	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Económico	1 Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por región	2	2	2	1	1	1
	2 Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por eficiencia	2	2	2	2	1	1
	3 Costo promedio de los refrigeradores domésticos por tamaño	1	1	1	1	2	2
	4 Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por estación del año	1	1	1	2	2	1
Ambiental	5 Emisiones de CO2 por refrigeración doméstica por región	0	0	0	0	0	0
	6 Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por región	0	0	0	0	0	0
	7 Emisiones de CO2 por refrigeración doméstica por estación del año	0	0	0	0	0	0
	8 Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por estación del año	0	0	0	0	0	0
	9 Emisiones de CO2 por refrigeración doméstica por tamaño	0	0	0	0	0	0
	10 Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por tamaño	0	0	0	0	0	0
Social	11 Total de viviendas con servicio eléctrico por región	0	0	0	0	0	0
	12 Total de viviendas con servicio eléctrico sin refrigerador por región	0	0	0	0	0	0
	13 Total de viviendas con servicio eléctrico con refrigerador por tamaño	0	0	0	0	0	0
Salud	14 Defunciones por enfermedades estomacales por vivienda con refrigerador por región	0	0	0	0	0	0
	15 Ventas de refrigeradores domésticos por región	0	0	0	0	0	0
	16 Ventas de refrigeradores domésticos por tamaño	0	0	0	0	0	0
Tecnológico	17 Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por región	0	0	0	0	0	0
	18 Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por estación del año	0	0	0	0	0	0
	19 Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por eficiencia	0	0	0	0	0	0
	20 Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por tamaño	0	0	0	0	0	0
Totales		6	6	6	6	6	5
Promedio		5.83333333					

Figura 5.4. Ejemplo de integración del cuadro de mando

Fuente: Elaboración propia

El conjunto de políticas energéticas seleccionadas puede tener diversas opciones y formas; todo depende del momento por el cual pase el país; por ello, se deben de considerar la mayor cantidad de opciones posibles, analizarlas y descartarlas tomando como premisa las necesidades del estudio y las relaciones que hay con el parque de refrigeradores domésticos. Las políticas energéticas se obtienen tanto de instituciones como individuos; y la proyección de los resultados de éstas está basada en realidades y escenarios complejos, que en ocasiones pueden ser demasiado idealistas, lo que cambia la objetividad y fomenta la confrontación de los costos que van relacionados con los beneficios que se pudieran llegar a tener.

El Cuadro de Mando utilizado en el presente estudio estará integrado por indicadores complejos, y el grupo de políticas energéticas seleccionadas, en donde cada uno analiza de forma particular la contribución de cada elemento, aunque no intentan diagnosticar específicamente lo que lo afecta; sino que buscan integrar de manera conjunta a todos los componentes para tratar de dar una solución con múltiples criterios, basándose en un análisis más riguroso, y así asegurarse de que las conclusiones sean lo más apegado al pronóstico.

Al usar los indicadores complejos y políticas energéticas se pueden obtener muchos beneficios, tales como una mayor amplitud de cobertura del Cuadro de Mando, ya que se contemplan una variedad de causas posibles, a través de un solo indicador complejo; también existe la posibilidad de comenzar a utilizar dicho cuadro de inmediato, ya que siempre existirán indicadores dentro del estudio que pueden

comenzar a evaluarse en un periodo de tiempo específico. Por otra parte, es importante mencionar que la selección de los mejores indicadores complejos se debe de realizar después de que se haya creado el Cuadro de Mando estratégico, ya que el resultado de cualquier implementación de prospectivas debe ser el enlace entre la estrategia que se desea llevar a cabo y la información que se desprende de los procesos en los que se trabaja durante el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Con la integración de las políticas públicas y los indicadores complejos dentro del cuadro de mando (Figura 5.4), se pueden generar las propuestas de políticas energéticas prospectivas, considerando por ejemplo el seguir con la misma tendencia o en su defecto efectuar un cambio de la misma. Para tal efecto es necesario considerar la integración de elementos de ponderación dentro de las ecuaciones mostradas en la tabla 5.1, por medio de la teoría de Utilidad Multiatributo<sup>91</sup>, en donde se busca expresar las preferencias del usuario sobre un conjunto de atributos o criterios en términos de la utilidad que se reporta, dentro de un contexto de la teoría de la decisión en condiciones de incertidumbre.

#### 5.4.2. La teoría de la utilidad Multiatributo (MAUT)

La teoría de la utilidad Multiatributo (MAUT) proporciona un medio lógico y manejable para hacer concesiones entre objetivos contradictorios (Keeney y Raiffa, 1976). En esta teoría se considera dos modelos que son:

I. La forma general del modelo aditivo es:

$$u(x) = \sum_{i=1}^n k_i u_i(x_i) \quad (5.6)$$

Donde:

$i$  es el atributo de interés

$x_i$  es la evaluación unidad para el atributo  $i$

$u_i$  es la preferencia de la toma de decisiones de para  $x$ ,

$k$  es la importancia relativa del atributo  $i$ , para los  $n$  tales atributos que:

$$\sum_{i=1}^n k_i = 1$$

Esto indica que la suma máxima de los atributos es igual a uno.

Las consideraciones para este modelo son:

- Cuanto mayor sea la medida de utilidad multiatributo,  $u(x)$ , más conveniente la alternativa.
- El modelo aditivo es apropiado sólo si la preferencia de toma de decisiones satisfacen las variables independientes del modelo.

<sup>91</sup> Keeney, R. L y Raiffa, H. (1976). Decisions with multiple objectives. 1° Edition John Wiley and sons. New York.

II. El modelo multiplicativo se puede representar como la siguiente manera:

$$1 + ku(x) = \prod_{i=1}^n [1 + k k_i u_i(x_i)] \quad (5.7)$$

Donde  $0 \leq k_i \leq 1$  es la constante de escala (de peso) para las propiedades, mientras que  $n$  es:

$$\sum_{i=1}^n k_i \neq 1$$

Y  $k$  en la ecuación (5.7) se refiere como la Sumatoria de contribuciones. Keeney y Raiffa (1976) define a  $k$  como un adicional constante de escala tal que:

$$1 + k = \prod_{i=1}^n [1 + k k_i] = 1$$

Esto considera que los términos de  $K$  son siempre igual al rango de ponderación; que en este caso es uno.

Para el caso del presente estudio, se considerarán el emplear el método multicriterio en esta parte del estudio, así como también para ubicar a las categorías dentro de la estructurar la pirámide de jerarquización; ya que existen dos ventajas por usar este método; primeramente el hecho de que pueden excluir cualquier incomparabilidad y que las preferencias sean transitivas; además de que es un método compensatorio y el procesamiento de información es interdimensional, lo cual se ajusta de manera adecuada a la metodología propuesta en la investigación.

Para simplificar la información de la importancia relativa y para poder dar una clasificación de prioridad de los elementos de ponderación, se empleo una escala subyacente con valores de 0 a 0.4. La tabla 5.4 muestra las tasas numéricas recomendadas para los elementos de ponderación que en su momento serán una herramienta de mucho valor para la toma de decisiones. La teoría Multiatributo y la experiencia hasta el momento adquirida han confirmado que la escala de 5 unidades es una base razonable para las prioridades dentro de las políticas energéticas que se desean implementar.

Para incorporar a los elementos de ponderación se deben de considerar varios criterios, los cuales están relacionados con el objetivo de la investigación, que es proponer una nueva política energética para el uso eficiente de la energía en el parque de refrigeradores domésticos en México. Por lo que se tiene que implementar una representación gráfica de la situación, que está en función de la meta general, los criterios y las alternativas de decisión.

**Tabla 5.4. Escala de comparación para los elementos de ponderación**

Juicio sobre las preferencias	Tasa numérica (%)	Color de identificación dentro del cuadro de mando
No lo afecta	0	
Política que mantiene estable al indicador	10	
Política que propone un cambio en el indicador	20	
Política que comienza a originar cambios en el indicador	30	
Política que produce un cambio significativo en el indicador	40	
Total	100	

Fuente: Elaboración propia con información de Keeney, R. L y Raiffa, H. (1976)

Con la integración del cuadro de mando, junto con los elementos de ponderación y su escala correspondiente (Tabla 5.4), se puede determinar la prioridad de cada uno de los indicadores complejos que se están comparando. Esto se efectúa a partir de los mapeos gráficos<sup>92</sup>, en donde se suman los valores de cada columna que lo componen, posteriormente se obtienen los promedios de cada conjunto de indicadores complejos que integran una política energética y finalmente se comparan entre si para identificar el grado de aportación al análisis.

### 5.4.3. Mapeos Gráficos

Los resultados del modelo dependen críticamente de los datos de entrada, y por lo tanto éstos deben ser examinados cuidadosamente. El análisis de sensibilidad puede enfocarse en aquellos juicios de entrada que podrían ser más importantes para determinar la elección de los indicadores complejos más trascendentales para el estudio, por lo tanto, necesitan ser revisados a detalle. Para ello, es básico ubicar los puntos móviles donde las alternativas de implementación de políticas energéticas varían con el cambio de los escenarios. Todo esto se logra efectuando un mapeo gráfico de la situación, el cual es un ciclo de decisión analítico con varias fases, ya que el análisis es iterativo y se considera concluido cuando el tomador de decisiones se siente satisfecho con las conclusiones<sup>93</sup>.

El mapeo gráfico provee un fuerte fundamento para la toma de decisiones racional bajo múltiples objetivos, además de que el tomador de decisiones es capaz de articular sus

<sup>92</sup> [http://ardent.mit.edu/real\\_options/RO\\_current\\_lectures/SPANISH\\_multiattribute\\_utility.pdf](http://ardent.mit.edu/real_options/RO_current_lectures/SPANISH_multiattribute_utility.pdf)

<sup>93</sup> French, S. Geldermann, J. (2005). The varied contexts of environmental decision problems and their implications for decision support. *Environmental Science and Policy* 8(4):378-391.

preferencias de acuerdo con ellas mismas o la indiferencia<sup>94</sup>. Por otro lado, se considera como una teoría en donde no hay incertidumbres sobre las consecuencias de las alternativas ya que se pueden exponer varios escenarios; por ejemplo el contemplar el hecho de que las políticas que se deseen implementar se mantenga de acuerdo a la tendencia que muestran; o en su defecto exista un cambio en ésta en base a la elaboración de nuevas políticas integrales que surtan efecto en el corto, mediano o largo plazo. El mapeo establece posibles impactos al seleccionar cada una de las alternativas, y es representado gráficamente por las contribuciones de los elementos de ponderación descritos en la tabla 5.4. A continuación se presenta un ejemplo del mismo aplicado para un elemento de la categoría tecnológica (Figura 5.5).

El punto de inicio para obtener la contribución de cada uno de los indicadores complejos es analizar cada atributo de manera independiente a través de los aportes de los elementos de ponderación, las cuales asumen que los valores obtenidos por cada alternativa para cada uno son la escala de valores que refleja las preferencias relativas del tomador de decisiones para diferentes políticas energéticas. Entonces las consecuencias de cada indicador complejo son valoradas, se incluyen dentro de un grupo único de atribuciones; y posteriormente serán la base para la elaboración de la pirámide de jerarquización relacionada con el uso eficiente de la electricidad en el parque de refrigeradores domésticos.

		Inversión destinada a desarrollo de tecnología					
No	Indicador	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Económico	1 Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por región	1	2	2	3	3	4
	2 Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por eficiencia	2	2	3	3	4	4
	3 Costo promedio de los refrigeradores domésticos por tamaño	1	1	2	2	3	3
	4 Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por estación d	1	1	2	2	2	3
Ambiental	5 Emisiones de CO2 por refrigeración doméstica por región	1	1	2	2	2	3
	6 Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por región	0	0	0	0	0	0
	7 Emisiones de CO2 por refrigeración doméstica por estación del año	1	2	2	3	3	3
	8 Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por estación	0	0	0	0	0	0
	9 Emisiones de CO2 por refrigeración doméstica por tamaño	2	2	3	3	4	4
	10 Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por tamaño	0	0	0	0	0	0
Social	11 Total de viviendas con servicio eléctrico por región	0	0	0	0	0	0
	12 Total de viviendas con servicio eléctrico sin refrigerador por región	0	0	0	0	0	0
	13 Total de viviendas con servicio eléctrico con refrigerador por tamaño	0	0	0	0	0	0
Salud	14 Defunciones por enfermedades estomacales por vivienda con refrigerador por r	0	0	0	0	0	0
	15 Ventas de refrigeradores domésticos por región	2	2	3	4	4	4
	16 Ventas de refrigeradores domésticos por tamaño	1	2	3	4	4	3
Tecnológico	17 Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por región	1	2	3	3	3	3
	18 Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por estación	2	2	4	4	4	3
	19 Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por eficienc	3	3	4	4	4	4
	20 Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por tamaño	2	2	3	3	4	4
Totales		20	24	36	40	44	45
Promedio		34.833333					

Figura 5.5. Ejemplo de mapeos gráficos integrando elementos de ponderación  
Fuente: Elaboración propia

<sup>94</sup> Belton, V. Stewart, T. (2002). Multiple criteria decision analysis: an integrated approach. Kluwer Academic Press. Boston USA.

Existen varios procedimientos para la determinación de los pesos de los indicadores complejos por medio de elementos de ponderación, como por ejemplo el método de las compensaciones<sup>95</sup> que tiene un fuerte fundamento teórico pero es difícil de usar. Por lo tanto, se tomó la decisión que para el presente trabajo de investigación, las puntuaciones de dichos indicadores serán las que decidan los elementos de ponderación de cada uno de ellos ya que las escalas de medidas están normalizadas para obtener una unidad en común.

Para establecer la aportación de los elementos de ponderación se tiene que considerar la generación de actores que sirvan para estimar la demanda de productos, la disponibilidad, los costos, las tecnologías, la generación de contaminantes, entre otros; relacionados con el uso de los refrigeradores domésticos y el consumo de energía. Por ello, se obtuvieron directrices relacionadas con el uso de nuevas tecnologías, tendencias de crecimientos, comportamientos económicos y prospectivos a futuro; a través de un análisis que consiste en encontrar la mejor manera de utilizar los recursos a partir de escenarios dados por los indicadores complejos a lo largo del horizonte de planificación. El éxito de éste depende de la construcción un árbol de escenarios<sup>96</sup> relativamente sencillo (Figura 5.6).

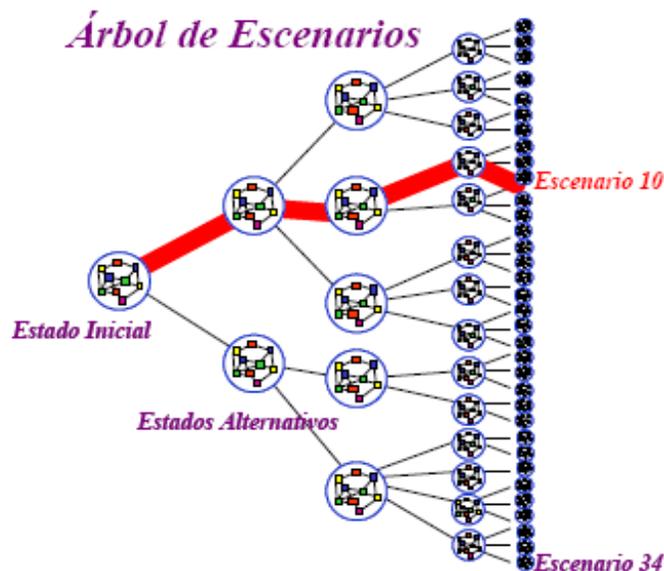


Figura 5.6. Ejemplo de árbol de escenarios  
Fuente: Cruz, Esteban (2004)

Se entiende como árbol de escenarios a la representación de un conjunto de escenarios, cada rama del árbol será una posible solución del sistema. Según Van Der

<sup>95</sup> Keeney, R.L. Raiffa, H. (1976). *Op. Cit.*

<sup>96</sup> Cruz Lario, Esteban (2004). Análisis y definición de escenarios en programación estocástica para la gestión de la cadena de suministros en el sector del automóvil. III Jornadas de Ingeniería de Organización. Barcelona, 16-17 de septiembre de 2004.

Heijden<sup>97</sup> “los escenarios son un instrumento que ayuda a mejorar nuestra comprensión sobre las consecuencias a largo plazo, de las tendencias de políticas existentes o potenciales y sus interacciones”. El método de árbol tiene por objeto definir un estado futuro de un sistema conocido actualmente (por lo menos parcialmente) por medio de la ponderación y permite pasar del estado presente a la imagen futura.

Con base en la información recabada en los cuadros de mando, se elaboró un árbol de escenarios, que será el soporte para la elaboración de la pirámide de jerarquización. Éste árbol está formado primeramente por el planteamiento y desarrollo de una nueva política para los refrigeradores domésticos, posteriormente se integran las categorías y por último los indicadores complejos que se evalúan por medio de los valores de ponderación que se obtuvieron para cada una de ellas. A continuación se presenta en la figura 5.7 la estructura de árbol utilizada.

Estados		Categorías	Priorización de Indicadores	
Inicial	Alternativo		Global	Categoría
<b>Políticas energéticas para el uso eficiente de energía en la refrigeración</b>	Sector	<b>Política Energética</b>		
	Económica	Producto Interno Bruto (PIB)	6.0	6.0
		Índice de Precios al Consumidor (IPC)	6.0	6.0
		Índice Nacional de Precios al consumidor (INPC)	6.2	6.2
		PIB PER CAPITA	6.2	6.2
		Crecimiento Económico	7.0	7.0
		Empleos y Salarios	3.5	3.5
		Crudos Diversos	1.8	1.8
	Ambiental	Gas Natural	3.0	3.0
		Reducción de concentración de emisión de contaminantes	5.8	5.8
		Reducción de generación de desechos sólidos	8.8	8.8
		Manejo integral de desechos sólidos incluyendo el tratamiento y deposición final	8.8	8.8
		Reducción de riesgos ambientales causantes de daños a la salud	12.8	12.8
	Social	Consumo de sustancias agotadoras de la capa de ozono	5.3	5.3
		Ordenamiento Territorial	4.5	4.5
		Viviendas con cobertura de energía eléctrica	13.3	13.3
		Reducción de los niveles de pobreza	8.5	8.5
		Índice de Desarrollo Humano (IDH)	11.0	11.0
	Salud	Tasa de crecimiento de la población	23.7	23.7
		Medidas para controlar y revertir la diseminación de enfermedades	3.2	3.2
		Productos de consumo frecuente	7.3	7.3
		Servicios de consumo no básico	18.2	18.2
	Tecnológica	Nivel de salud de la población	1.8	1.8
		Uso de energía renovable del total energético	9.2	9.2
		Producción de energía más limpia	11.2	11.2
		Producción de bienes	11.0	11.0
			Inversión destinada a desarrollo de tecnología	32.3

Figura 5.7. Árbol de escenarios

Fuente: Elaboración propia con información de Cruz, Esteban (2004)

Con la integración de los elementos de ponderación, junto con los valores totales de cada uno de los indicadores complejos, se puede estructurar la pirámide de jerarquización, donde las categorías ambiental, social, tecnológica, económica y de salud se ubicaran de acuerdo a la contribución porcentual de los indicadores complejos,

<sup>97</sup> Van Der Heijden, K., (1996) “Scenarios: the art of strategic conversation”, Ed. Wiley.

ya que toman como referencia las conductas de cada una de las políticas públicas que se encuentran relacionadas.

### 5.5. Pirámide de Jerarquización

El proceso de análisis jerárquico consiste en formalizar la comprensión del problema mediante la construcción de un modelo que le permite al usuario estructurar el problema en forma visual. El modelo empleado en el presente trabajo de investigación contiene 3 niveles, la meta u objetivo, los criterios o categorías que lo componen y la base de la estructura. Una vez construido, se hacen comparaciones entre las categorías y se atribuyen valores numéricos de acuerdo con la teoría Multiatributo<sup>98</sup> descrita anteriormente y la experiencia adquirida tras la elaboración de los cuadros de mando y el mapeo gráfico. Los resultados del proceso de jerarquización buscan apoyar la toma de decisiones, e identificar la mejor alternativa a través de múltiples valores, además de que se debe partir de la premisa de que todas las categorías tienen la misma importancia y que existen valores mínimos y máximos aceptables para cada uno de los atributos. La pirámide de jerarquización está sustentada en un conjunto de indicadores Macro que componen cada una de las categorías; éstos a su vez estarán integrados por los indicadores complejos y elementos de ponderación que se conocerán como "Betas". A continuación se muestran las expresiones de los Indicadores Macro que integran cada una de las categorías.

#### Categoría Económica

$$I_{CAE} = (CAEPR1) * \beta_{eco1} + (CAEPR2) * \beta_{eco2} + (CPR1) * \beta_{eco3} + (CAEPR3) * \beta_{eco4}$$

#### Categoría Ambiental

$$I_{TEQ} = (ECOR1) * \beta_{amb1} + (GDSSR1) * \beta_{amb2} + (ECOR2) * \beta_{amb3} + (GDSSR2) * \beta_{amb4} + (ECOR3) * \beta_{amb5} + (GDSSR3) * \beta_{amb6}$$

#### Categoría Social

$$I_{VSR} = (TVSE1) * \beta_{soc1} + (TVESR1) * \beta_{soc2} + (TVSE2) * \beta_{soc3}$$

#### Categoría Salud

$$I_{DIE} = (DEEVR1) * \beta_{sal1} + (VRD1) * \beta_{sal2} + (VRDT1) * \beta_{sal3}$$

#### Categoría Tecnológica

$$I_{CER} = (CTEPR1) * \beta_{tec1} + (CTEPR2) * \beta_{tec2} + (CTEPR3) * \beta_{tec3} + (CTEPR4) * \beta_{tec4}$$

Cada categoría tendrá una contribución porcentual dentro de la pirámide de jerarquización; y estará sustentada por medio de los mapeos gráficos y el desarrollo del árbol de escenarios, además de la experiencia que se ha venido adquiriendo hasta el momento, junto con información de escenarios prospectivos a nivel país. Para la categoría económica se propuso una contribución del orden de 41% del total; esto porque se puede prever que para los próximos años el Producto Interno Bruto, el precio

<sup>98</sup> Keeney, R. L y Raiffa, H. (1976). *Op. Cit.*

de los combustibles y los índices nacionales de precios al consumidor van a afectar de forma considerable al uso de los refrigeradores domésticos<sup>99</sup>, dando como resultado que dentro de la estructura jerárquica, esta categoría tenga el mayor peso porcentual, relacionado con la toma de decisiones.

Para la categoría tecnológica se propuso un peso porcentual del orden de 25%, el cuál se asigno de la misma forma que en la categoría anterior, con la salvedad de que para este estudio, se considero que en un futuro la investigación destinada al desarrollo de tecnología, sea el eje principal, junto con la producción de bienes y el uso de energías limpias<sup>100</sup>; mientras que para la categoría ambiental se planteó darle un 17%, ya que si bien es una categoría importante, se piensa que en los próximos años no tendrá tanta relevancia como las categorías anteriores, aunque cabe señalar que la bondad de la estructura de jerarquización y la metodología desarrollada hasta el momento, permiten intercambiar las ubicaciones de las categorías, en función de las políticas e indicadores que estén actuando al momento de hacer el análisis correspondiente. Además de que las políticas relacionadas con las cuestiones ambientales estarán orientadas en la reducción de riesgos ambientales causantes de daños a la salud y el manejo integral de desechos sólidos incluyendo su deposición final<sup>101</sup>.

En relación a la categoría social, se consideró darle un aporte de 14% en relación con el total, esto es debido a que las políticas que podrían afectar en un futuro al uso de refrigeradores domésticos en el sector residencial, están vinculadas con la tasa de crecimiento de la población y las viviendas con servicio de electricidad, los cuáles son parámetros difíciles de controlar, y requieren de un tiempo largo para ver cambios significativos<sup>102</sup>. Y finalmente para la categoría salud se le asigno un peso porcentual del orden de 3%, lo que quiere los aportes de los indicadores son bajos para el estudio, sin embargo se deben de considerar ya que puede existir la posibilidad de que en un futuro las tendencias cambien de forma drástica y el modelo se tenga que adecuar a la situación de una nueva política de salud, tomando como referencia que los consumos de servicios no básicos, afectan de forma directa a esta categoría<sup>103</sup>.

Los pesos porcentuales de cada uno de los indicadores complejos que integran la pirámide de jerarquización, tienen que ajustarse a la contribución porcentual dada para cada categoría, esto debido a que el análisis es multivariable y se tiene que adaptar a los cambios que se presentan. Para llevarlo a cabo se tiene que hacer un estudio en donde se determinarán los valores de los elementos de ponderación (Betas) para cada categoría.

---

<sup>99</sup> <http://estepais.com/site/wp-content/uploads/2010/03/indicadoresINEGI228.pdf>

<sup>100</sup> <http://rotativo.com.mx/universitarias/ocupa-mexico-ultimo-lugar-en-inversion-a-ciencia-y-tecnologia-ocde/21413/html/>

<sup>101</sup> [http://www.sener.gob.mx/webSener/res/722/EAyPMACorregido100610\\_Final.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/722/EAyPMACorregido100610_Final.pdf)

<sup>102</sup> <http://www.presidencia.gob.mx/prensa/discursos/?contenido=36736>

<sup>103</sup> <http://www.abm.org.mx/estudios/20070315%20ABM%20Estudio%20comparado%20Banca%20retail%20Mexico%20Nota%20de%20prensa%20vfag.pdf>

Para estimar el valor porcentual de cada una de las betas involucradas en las categorías se empleo el cuadro de mando desarrollado en el punto 5.4.1, junto con los datos de la tabla 5.4. Primeramente se contabiliza la contribución numérica de cada indicador complejo, asignada por medio de los elementos de ponderación, después se multiplica dicha contribución por el porcentaje de la categoría a la que pertenezca el indicador entre la suma del total de las contribuciones de todos los indicadores complejos que integran esa categoría. Dicho procedimiento se expresa en porcentaje y se muestra a continuación.

$$\text{Indicador Complejo} = C. \text{Categoría} * \frac{E.P.}{\sum_{i=0}^4 E.P} \quad (\%) \quad (5.8)$$

Donde:

C. Categoría = Contribución de cada categoría

E.P = Elemento de ponderación

Del estudio realizado se encontraron los valores correspondientes de las betas que integran el indicador macro de la categoría económica, los cuales se muestran a continuación.

#### **Categoría Económica**

$$I_{CAE} = (CAEPR1) * 0.1148 + (CAEPR2) * 0.123 + (CPR1) * 0.1066 + (CAEPR3) * 0.0656$$

En donde se tiene una participación importante del crecimiento económico, que es el aumento de la renta o valor de bienes y servicios finales producidos por una economía (generalmente un país o una región) en un determinado período de tiempo. Por lo que si se desea desarrollar y poner en marcha una nueva política energética, debe de existir un incremento de ciertos indicadores, como la producción de bienes y servicios, el mayor consumo de energía, el ahorro, la inversión, una balanza comercial favorable, el aumento de consumo de calorías per cápita, etc. El mejoramiento de éstos indicadores debería llevar teóricamente a un alza en los estándares de vida de la población y como consecuencia generar un consumo eficiente de energía en el parque de refrigeradores domésticos. Habitualmente el crecimiento económico se mide en porcentaje de aumento del Producto Interno Bruto real, o PIB. El crecimiento económico así definido se ha considerado (históricamente) deseable, porque guarda una cierta relación con la cantidad de bienes materiales disponibles y por ende una cierta mejora del nivel de vida de las personas. El crecimiento suele calcularse en términos reales para excluir el efecto de la inflación sobre el precio de los bienes y servicios producidos.

Además el PIB es el valor monetario total de la producción corriente de bienes y servicios de un país durante un período de tiempo, se espera que se mantenga constante los próximos años, por ello es importante destinar mayores recursos a ciertos puntos estratégicos del país para tener un mejor desarrollo económico. Por otra parte,

también se encuentra involucrado el índice nacional de precios al consumidor que es un indicador derivado de un análisis estadístico, publicado quincenalmente por el banco de México que expresa las variaciones en los costos promedios de una canasta de productos seleccionada y que sirve como referencia para medir los cambios en el poder adquisitivo de la moneda. El ámbito del índice se limita estrictamente a aquellos gastos que caen dentro de la categoría de consumo, excluyéndose así aquellos que suponen alguna forma de inversión o de ahorro. Debido a esto es primordial considerar un programa gubernamental a gran escala que tenga el objetivo de financiar a los hogares para que pueden adquirir los equipos de refrigeración de lata eficiencia y así aportar a la reducción en los consumos de energía y las emisiones de contaminantes, junto con la generación de desechos sólidos relacionados con los refrigeradores que salen de funcionamiento.

Las políticas energéticas vinculadas con el sector económico también deja de lado algunas cuestiones de las públicas, por ejemplo la relacionada con los empleos y salarios de la población en México, ya que aun cuando la población no cuente con ingresos altos, pero tenga servicio de energía eléctrica, esta no la dejara de pagar, ya que es un servicio básico para vivir. Así como el concepto de crudos diversos y gas natural, que si bien están relacionados con el consumo de energía del parque de refrigeradores domésticos, los usuarios no tienen una influencia directa en éstos, por lo que el precio de la energía esta en manos de otros actores relacionados con el tema.

Para el caso de la categoría Ambiental se realizo su análisis correspondiente y se obtuvieron las siguientes betas.

#### **Categoría Ambiental**

$$I_{TEQ} = (ECOR1) * 0.0671 + (GDSSR1) * 0.0134 + (ECOR2) * 0.0224 + (GDSSR2) * 0.0089 + (ECOR3) * 0.0447 + (GDSSR3) * 0.0134$$

Se encontró que los elementos que aportan más información para el desarrollo e implementación de la nueva política energética de esta investigación son, la reducción de riesgos ambientales causantes de daños a la salud, la cual esta relacionada con tanto a las emisiones de gases contaminantes, como a la generación de desechos sólidos, por lo que si se desea llevar a cabo un programa de sustitución de refrigeradores, es importante tener en cuenta los riegos a la salud que se pudieran tener; Además de considerar la implementación de un plan de trabajo relacionado con la reducción en la generación de desechos sólidos, ya que actualmente no se cuentan con programas masivos para el manejo integral de los residuos, donde se incluya su tratamiento y depósito final.

De igual forma que en la categoría económica, también aquí hay políticas energéticas que no aportan beneficios directos para la implementación de las nuevas políticas, éstas son las afines a la reducción en la concentración de emisiones de contaminantes, ya que actualmente la tendencia en el uso de refrigeradores es hacia los eficientes, además de que la mayor parte de la contaminación en el país es causada por los

vehículos y el sector industrial, y por ende no se tiene injerencia directa en estos factores. De igual forma existe la política establecida hacia el consumo de sustancias agotadoras de la capa de ozono, que no representa un indicador de peso en el estudio, porque la tecnología con la que se cuenta hoy en día para la refrigeración doméstica tiene la meta de emplear sustitutos de freones como agente refrigerante.

Tomando como referencia el mismo análisis que en las categorías anteriores se encontraron los valores de betas que integran la categoría social, los cuales se muestran a continuación.

### **Categoría Social**

$$I_{VSR} = (TVSE1) * 0.0392 + (TVESR1) * 0.0616 + (TVSE2) * 0.0391$$

En relación a las políticas públicas más importantes que integran la categoría social, y que podrán ser la base para llevar a cabo la nueva política energética de este estudio; se encontraron tendencias y comportamientos interesantes. Primeramente, los elementos que más peso tiene dentro del árbol son, la tasa de crecimiento de la población que es el aumento de la población del país en un período determinado, generalmente un año; refleja el número de nacimientos y muertes ocurridos durante el período y el número de inmigrantes y emigrantes del país. Lo cual es fundamental para la investigación, porque se tiene que prever los nuevos servicios básicos que se necesitan, ya sea energía eléctrica, agua e incluso los refrigeradores, y contemplar a su vez la sustitución acelerada de los equipos que tengan baja eficiencia y que aun se encuentren operando en el mercado. Por otra parte otra política interesante para estudiar es el Índice de Desarrollo Humano (IDH), que es la forma de medir la calidad de vida del ente humano en el medio en que se desenvuelve, y una variable fundamental para la calificación de un país o región. Entonces si este índice se mantiene constante y con una unidad de medición alta, es posible llevar a cabo las políticas necesarias para tener un mayor aprovechamiento de la energía destinada para el parque de refrigeradores domésticos; además de que incluye de forma directa el número de viviendas que cuentan con cobertura eléctrica, que mientras más grande sea, mayores recursos se tendrán que destinar, teniendo como ganancia una reducción considerable en los contaminantes, así como grandes potenciales de ahorro energético, tanto a nivel regional, como en el país.

Aunque cabe señalar que aun cuando existen elementos que están involucrados en la categoría social, éstos no pueden cambiar su aportación, ya que no están en manos de los usuarios tener intervención sobre ellos, como por ejemplo el reordenamiento territorial, que esta en función de las políticas públicas de crecimiento del país; junto con la reducción en los niveles de pobreza. Por ello la asignación de porcentajes de cada una de las betas podría quedar así:

Para la categoría Salud se calcularon los valores de las betas que integran el indicador macro de esta categoría y se presenta en a continuación.

---

**Categoría Salud**

---

$$I_{DIE} = (DEEVR1) * 0.0113 + (VRD1) * 0.0088 + (VRDT1) * 0.01$$

---

Como se ha venido mencionado, dentro del estudio metodológico se tienen que contemplar todos los elementos que estén involucrados; por lo que se genero una categoría relacionada con la salud, en donde los indicadores complejos consideran el supuesto de una manifestación a gran escala de enfermedades estomacales relacionadas con la falta de refrigeradores domésticos para conservar los alimentos. Derivado de esto, se obtuvieron resultados a través del árbol de jerarquización, que muestran las políticas energéticas relacionadas con el tema. Éstas marcan la tendencia hacia los servicios de consumo no básico, lo que quiere decir que si se desea llevar a cabo una política relacionada con la tasa de sustitución de los refrigeradores domésticos, se tendrá que plantear una estructura gubernamental que permita adquirir equipos de forma financiada, o a bajo costo. Lo cual caería en las políticas establecidas para la posesión de productos de consumo frecuente, y con ello instrumentar el desarrollo de las políticas pertinentes. Por otra parte, las cuestiones concernidas con las medidas para controlar y revertir la diseminación de enfermedades gastrointestinales y los niveles de salud en la población, si bien están vinculadas con el tema de investigación, éstas no aportan mucha información para realizar la jerarquización de categorías, ya que no están íntimamente ligadas con el uso de los refrigeradores domésticos destinados para la conservación de alimentos.

Por último se presenta el aporte porcentual calculado para las betas de la categoría tecnológica.

---

**Categoría tecnológica**

---

$$I_{CER} = (CTEPR1) * 0.0806 + (CTEPR2) * 0.0806 + (CTEPR3) * 0.0484 + (CTEPR4) * 0.0403$$

---

Para esta categoría se integraron un grupo de políticas energéticas, que después de un análisis exhaustivo dieron como resultado el hecho de que si se desea poner en marcha la nueva política energética, es necesario distribuir inversión a proyectos destinados a desarrollo de tecnología, ya que la eficiencia energética de los refrigeradores domésticos es un punto medular de la propuesta de nuevas políticas energéticas. Además se tiene que considerar la producción de energía limpia destinada al sector residencial.

Por otra parte, la política energética enfocada a la producción de bienes y servicios no es eje principal del estudio, debido a que son todas las cosas que valen, porque se utilizan en la producción o en el consumo, y se esta dispuesto a pagar; y aun cuando se tenga la exigencia de adquirir un nuevo refrigerador, si el usuario no cuenta con la solvencia económica, no se podrá comprar y cubrir esa necesidad. También es importante mencionar que la política gubernamental relacionada con el uso de energía renovable del total energético, en este momento no tiene peso específico en este estudio, ya que aun no se ha podido generar a gran escala, y así poder satisfacer las

necesidades del sector residencial del país. Sin embargo esta metodología podría aplicarse en un futuro a estos conceptos.

Con la determinación de los porcentajes de las “betas”, se puede hacer la agrupación de éstas para cada categoría. Para efectuar esta conjunción se consideró emplear de nueva cuenta la teoría multicriterio, ya que ésta puede priorizar a las categorías dentro de la estructurar la pirámide de jerarquización; con base en la información que las componen, así como determinar cuál de ellas tienen mayor peso y debe actuar bajo la influencia de los indicadores complejos que la integren. Las expresiones matemáticas para efectuar dicha priorización son las siguientes:

Para el sector Económico

$$SEC\ ECONOMICO = \sum_{i=1}^n Eco_i I_i \beta_i$$

Donde: (5.9)

$Eco_i$  = Categoría Económica

$I_i$  = Indicador complejo correspondiente

$\beta_i$  = Factor variable de ponderación

Para el sector Ambiental

$$SEC\ AMBIENTAL = \sum_{i=1}^n Amb_i I_i \beta_i$$

Donde: (5.10)

$Amb_i$  = Categoría Ambiental

$I_i$  = Indicador complejo correspondiente

$\beta_i$  = Factor variable de ponderación

Para el Sector Social

$$SEC\ SOCIAL = \sum_{i=1}^n Soc_i I_i \beta_i$$

Donde: (5.11)

$Soc_i$  = Categoría Social

$I_i$  = Indicador complejo correspondiente

$\beta_i$  = Factor variable de ponderación

Para el sector Salud

$$SEC\ SALUD = \sum_{i=1}^n Sal_i I_i \beta_i$$

Donde: (5.12)

$Sal_i$  = Categoría Salud

$I_i$  = Indicador complejo correspondiente

$\beta_i$  = Factor variable de ponderación

Para el sector Tecnológico

$$SEC\ TECNOLOGICO = \sum_{i=1}^n Tec_i I_i \beta_i$$

Donde: (5.13)

$Tec_i$  = Categoría Tecnológica

$I_i$  = Indicador complejo correspondiente

$\beta_i$  = Factor variable de ponderación

y para la parte de ponderación se tiene que:

$$\sum_{i=1}^n \beta_i = 1 \quad (5.14)$$

Con los valores porcentuales propuestos para las categorías, y los determinados para los elementos de ponderación (Betas), se puede estructurar la pirámide de jerarquización (para el año 2009); dando como resultado que las categorías ambiental, social y tecnológica se encuentran ubicadas en la parte media de la pirámide, mientras que la categoría económica tiene el mayor peso porcentual, y la de salud se encuentra en la parte más alta ya que contribuye poco con el desarrollo de la estructura de jerarquización (Figura 5.8).

Por otra parte, uno de los objetivos principales de la investigación esta relacionado con la meta u objetivo de estructura piramidal, debido a que con este arreglo se puede llegar a la propuesta de implementar una nueva política energética hacia el uso eficiente de la energía en el parque de refrigeradores domésticos en México. Por lo cual, los criterios de selección e implementación de éstas estarán basados en su mayoría en los indicadores complejos que forman la categoría económica, ya que éstos tendrán un mayor impacto por el peso porcentual que tienen. Además, existe la contribución de los elementos de la categoría tecnológica, social, ambiental y de salud; que también son necesarios, porque existe un vínculo entre todas las categorías ya que es un problema multicriterio.

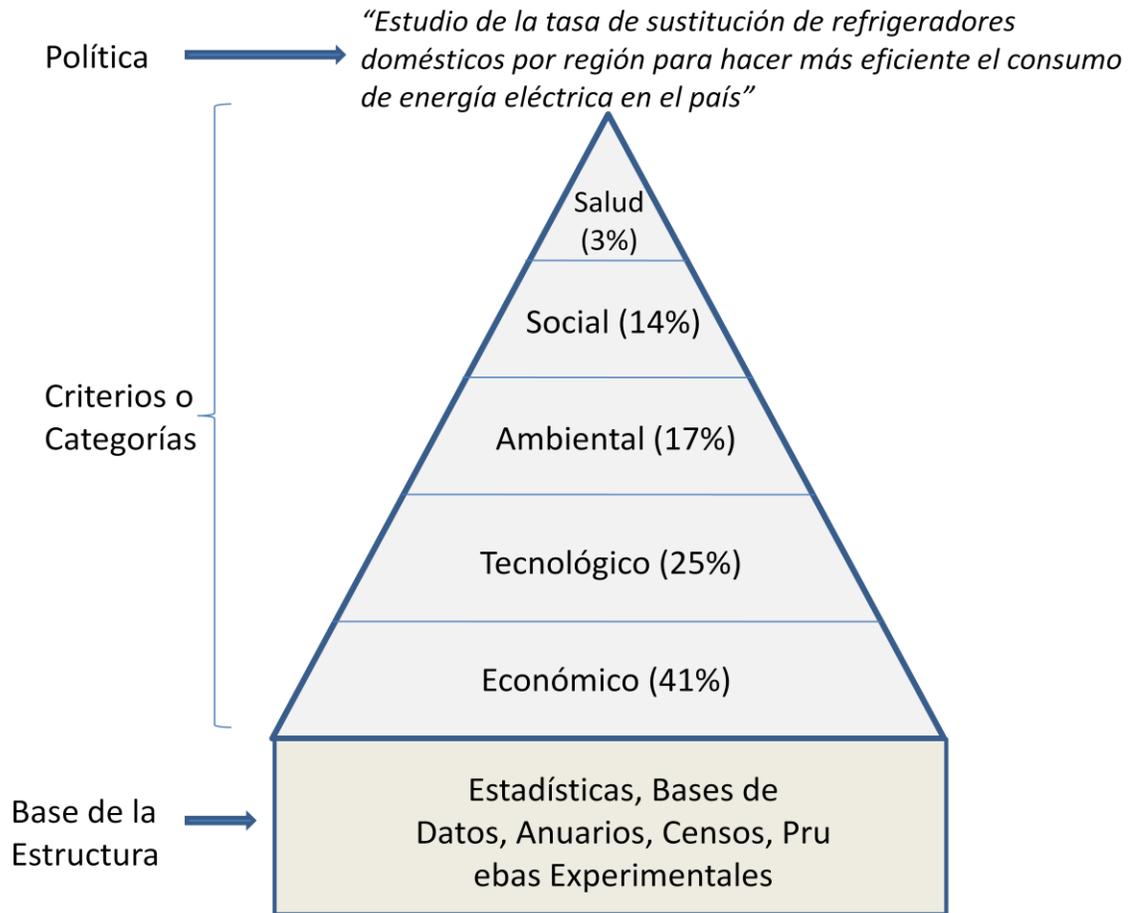


Figura 5.8. Pirámide de jerarquización por categorías año 2009

Fuente: Elaboración propia

Por ello, este esquema de jerarquización tiene la capacidad de ajustar a los elementos de ponderación de cada categoría en función de los cambios de políticas públicas, a través del tiempo, o en relación a los datos que integran la base de la estructura. Otras de las bondades de este esquema es que se puede hacer la integración de cualquier otra base de datos dentro de la estructura, y así complementar la información o en su defecto tener más elementos que perfeccionen a los indicadores complejos de cada una de las categorías. Además, se pueden realizar búsquedas y cambios específicos de cualquier indicador, partiendo de la nomenclatura que se halla asignado, y no afectar a los otros.

Con el desarrollo y validación de indicadores macro y complejos; a través de los cuadros de mando y el mapeo gráfico; junto con la estructura piramidal de jerarquización, se pueden desarrollar los escenarios prospectivos para la política energética relacionada con el uso de energía de los refrigeradores domésticos, ya que se cuenta con la información adecuada y se pueden ejecutar los análisis pertinentes; y

con ello dar por concluida la metodología que se deseaba tener al inicio de la investigación.

La elaboración de los escenarios prospectivos se basa en la información generada hasta el momento, derivada de los mapeos gráficos, el cuadro de mando y la estructura piramidal. Inicialmente se obtendrán los elementos necesarios que identifican cuál es la situación de los indicadores complejos, y después sus posibles contextos prospectivos, junto con las alternativas que existen para mantener las políticas energéticas que actualmente rigen al país; o en su defecto hacer un cambio en éstas.

## 5.6. Planteamiento y Elaboración de Escenarios Prospectivos

El proceso de implementación de la estructura de los escenarios prospectivos (2009-2014), se basa en un conjunto de criterios para alcanzar los objetivos planteados al inicio del presente trabajo de investigación; además de que se asocia con las 5 etapas del proceso de resolución de problemas<sup>104</sup>. Así, los escenarios prospectivos parten de identificar y definir hacia donde se quiere llegar con la elección de una alternativa, que estará vinculada a los elementos que integran los cuadros de mando antes descritos. Las 3 primeras fases del proceso constituyen la estructuración del problema y las 2 últimas el estudio del mismo.

La etapa de análisis se fundamenta en dos formas básicas, la cualitativa y la cuantitativa. La parte cualitativa se basa en el razonamiento y la experiencia del tomador de decisión y el enfoque cuantitativo se concentra en los datos asociados al problema, de donde se desarrollan expresiones matemáticas que describen en este caso el comportamiento de los indicadores complejos; y finalmente el análisis ofrecerá una recomendación tomando como referencia los aspectos cuantitativos del problema. La complejidad del estudio tiene la característica que implica relacionar varios criterios de decisión.

La selección de los escenarios prospectivos implica el uso de un proceso racional para escoger los indicadores complejos que aporten mayor información para desarrollar una nueva política energética, y dependen de la calidad de los datos utilizados para describir la situación; por ello el proceso de elaboración debe de considerar tres categorías.

- Baja certidumbre: Proceso por el cual los datos se conocen de forma determinista.
- Bajo riesgo: En la que los datos se describen mediante distribuciones de probabilidad.
- Baja incertidumbre: Es posible asignar a los datos pesos relativos que representan su grado de relevancia en la elaboración de los escenarios de proyección.

---

<sup>104</sup> Toskano Hurtado Gerard. (2006). El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. Tesis Digitales UNMSM. Universidad Mayor de San Marcos. Perú.

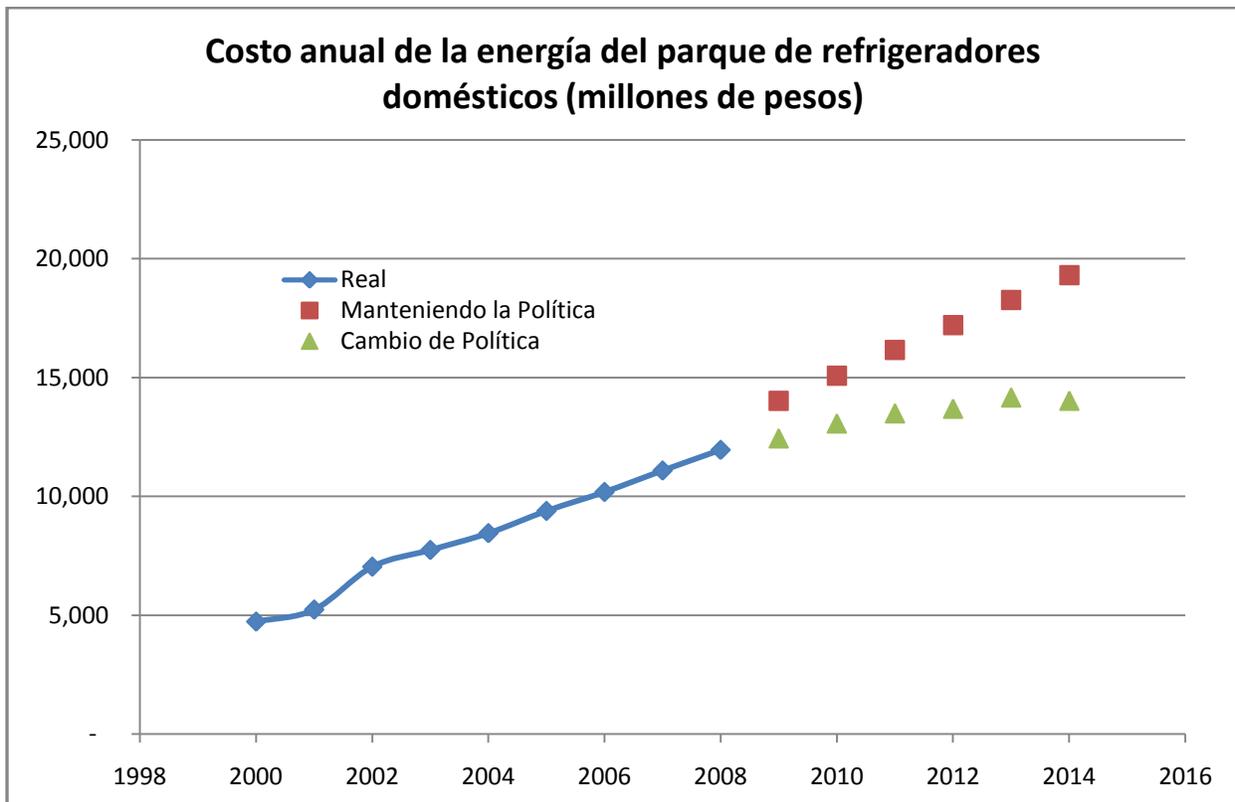
Para el propósito del estudio, los datos involucrados están en la categoría de baja incertidumbre, ya que la información de los indicadores complejos se encuentra regida por elementos de ponderación que son bastante fiables debido a que un experto en la materia los debió haber asignado. Por otra parte, la implementación de escenarios en esta investigación incluirá la selección de un conjunto de indicadores complejos factibles, la optimización de varios indicadores macro simultáneamente y procedimientos de evaluación racionales y consistentes.

Primeramente se efectuará el planteamiento de los escenarios prospectivos del presente estudio; para ello se elaboró una herramienta electrónica (Hoja de cálculo en Excel), tomando como base la estructura de los cuadros de mando, a donde se integraron los indicadores complejos, las políticas públicas relacionadas al tema y los elementos de ponderación que delimitan los comportamientos (Tabla 5.4). Con esta herramienta se desarrollaron una serie de gráficas que describen los comportamientos de los indicadores complejos en un escenario prospectivo de 2009 a 2014, a un nivel de incidencia que se desee, ya sea regional o bien para todo el país, además de presentar una tabla en donde se observan los indicadores que inciden directamente en las políticas energéticas. Para hacer este análisis es necesario mencionar que se consideraron dos premisas; una en donde se mantengan las tendencias que se vienen desarrollando; es decir, que se continúe con la política actual; y la otra que plantea un cambio en la misma, es decir que se propongan modificaciones en políticas energéticas específicas, las cuales en conjunto darán origen a la nueva política energética relacionada con el consumo de energía de los refrigeradores domésticos.

A continuación se presentan un conjunto de gráficas elaboradas a través de los cuadros de mando, en donde se muestra la evaluación de cada alternativa (Mantener la misma política que la rige o considerar un cambio de la misma) conforme al indicador que la genera, y además, se describe una valoración de cada una de las posibles soluciones en base a los objetivos planteados al inicio del estudio.

Para la categoría económica, se desarrolló el indicador complejo relacionado con el gasto monetario por el consumo de energía del parque de refrigeradores domésticos (Gráfica 5.1), el cual indica que la tendencia con el paso del tiempo es a la alza debido a que está relacionada directamente con el aumento en el número de quipos que se comercializan. El ritmo de crecimiento del gasto económico es bastante grande, ya que paso de 5,000 millones de pesos en el año 2000 a cerca de 15,000 millones para el 2009, por lo cual, al efectuar la prospectiva de esta tendencia para los próximos años se tiene que el costo de la energía consumida por los refrigeradores domésticos podría estar del orden de los 20,000 millones de pesos.

Esto se debe principalmente a las variaciones que existen en el producto interno bruto per capita, el cual es la relación que hay entre el PIB (producto interno bruto) del país y la cantidad de habitantes; y se ve reflejado en la paridad del poder adquisitivo, que ha venido disminuyéndose con el paso del tiempo.

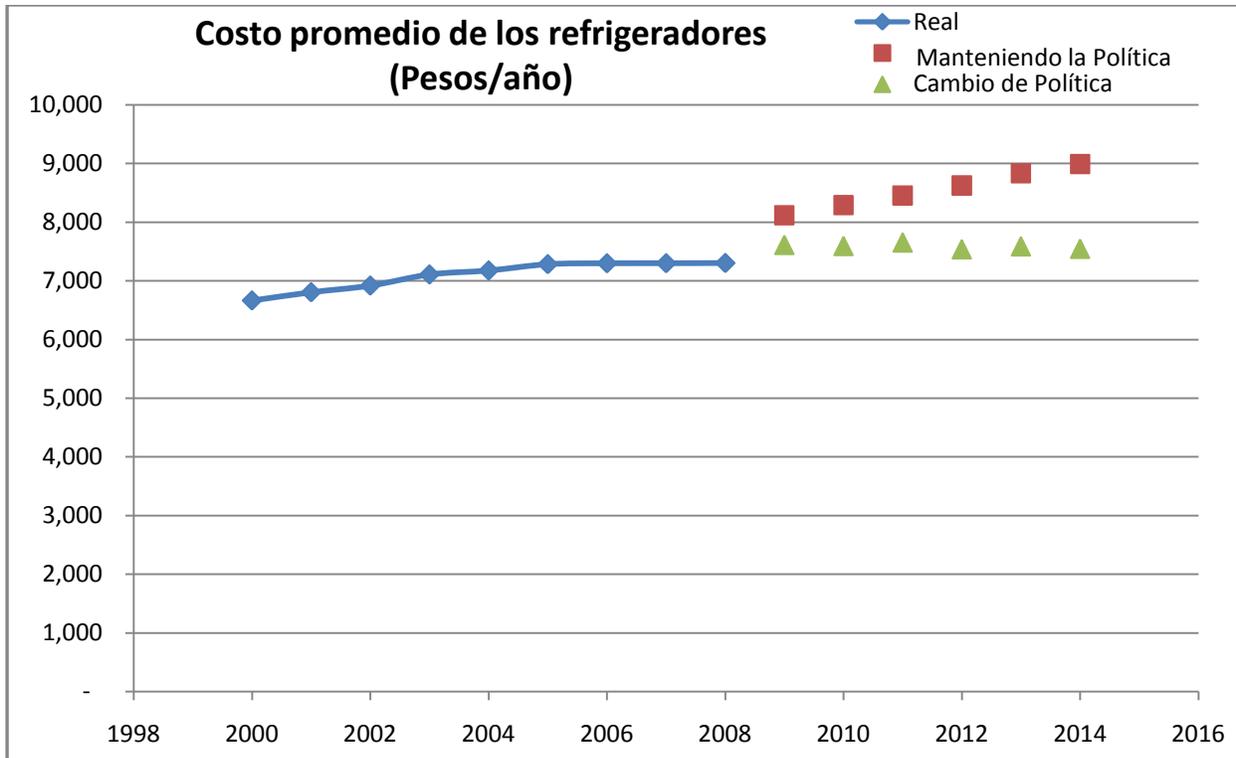


Gráfica 5.1. Costo anual de la energía del parque de refrigeradores domésticos  
Fuente: Elaboración propia

Además los precios que se manejan para poder adquirir equipos nuevos, también afecta de manera directa el los consumos de energía, lo que se traduce en aumento en los gastos destinados a la refrigeración doméstica. Debido a lo anterior, existe la necesidad de cambiar las tendencias de este indicador, ya que de lo contrario se corre el riesgo de las viviendas no puedan solventar los gastos ocasionados por los refrigeradores y dejen de usarlo, y así generar otros problemas vinculados por ejemplo al sector salud, social y tecnológico.

Para poder efectuar un cambio de tendencia, se deben de considerar factores como el desarrollo del PIB a nivel país, regional o local, para tener mejores crecimientos económicos; junto con los índices de precios al consumidor, que un indicador de la evolución de los precios de bienes y servicios que son parte de la canasta básica familiar. Además de considerar de forma indirecta al aumento que existe en la eficiencia energética de los nuevos aparatos que se comercializan. Al efectuar la proyección del escenario considerando el actuar sobre los elementos antes mencionados, se podrían reducir los gastos cerca de un 30%, lo cual es bastante bueno, por el hecho que también se encuentran relacionadas las emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente, que en ese momento también disminuirían de forma considerable, y que será descrito más adelante. Por parte de los costos de los refrigeradores domésticos, se observa de la gráfica 5.2 que no han sufrido variaciones bastante grandes entre el periodo de 2000 a

2008, ya que pasaron de valer en promedio cerca de \$7,000.00 pesos a poco más de \$7,500.00, esto se debe básicamente al ajuste de la inflación de los precios al consumidor.



Gráfica 5.2. Costo promedio de los refrigeradores

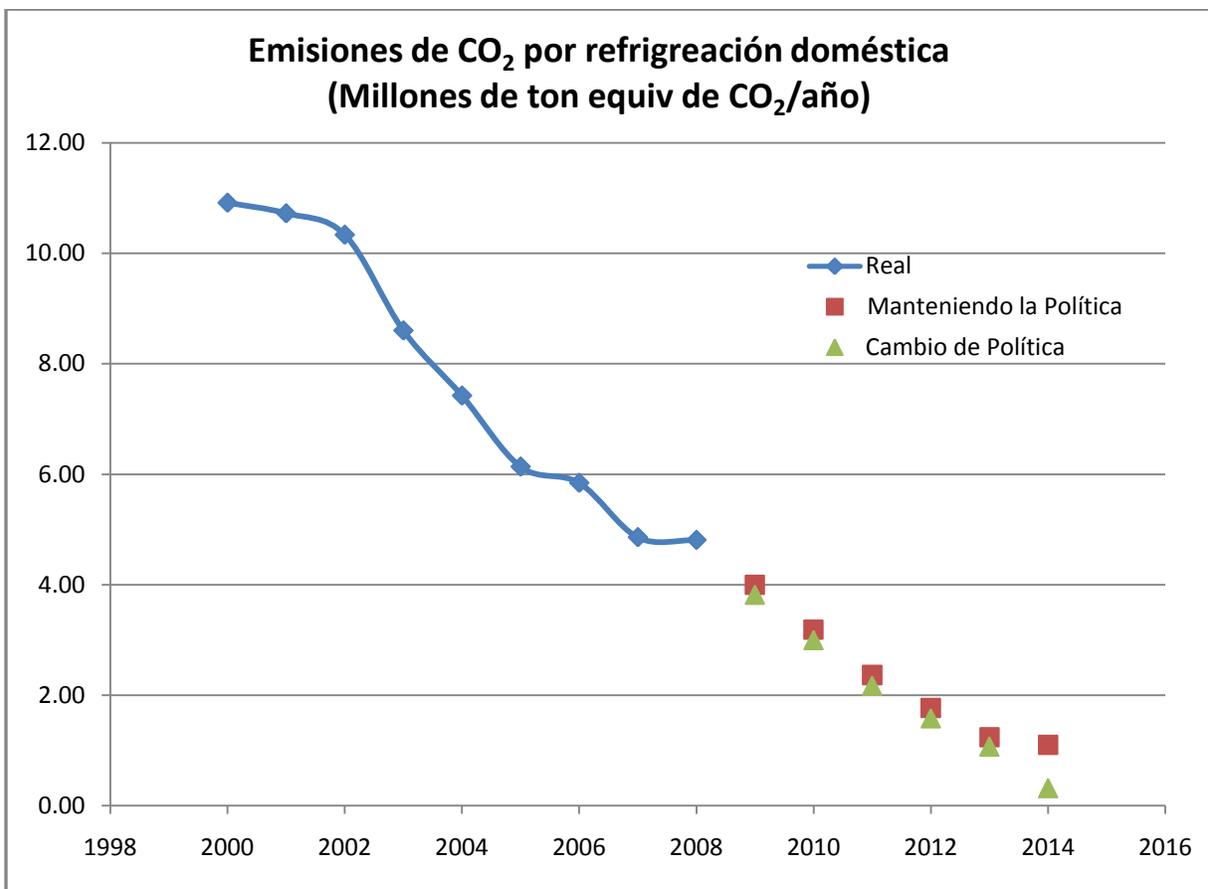
Fuente: Elaboración propia

Aunque si se realiza la prospección manteniendo la misma tendencia historia, se puede advertir que los costos podrían llegar hasta poco más \$9,000.00 pesos en promedio; esto debido principalmente a los mismos factores del indicador anterior, las variaciones del PIB, aunque también está muy relacionado los índices nacionales de precios al consumidor (INPC), el cual es un indicador económico diseñado específicamente para medir el cambio promedio de los precios en el tiempo, en este caso de los refrigeradores domésticos, mediante una canasta ponderada de bienes y servicios representativa del consumo de las familias de México.

Por tal motivo es de gran importancia el tratar de mantener constante este indicador o en su defecto que la tendencia de crecimiento sea lo más lenta posible, para ello el crecimiento económico del país debe de ser bastante bueno, ya es que está relacionado directamente con el poder adquisitivo, además de que los precios al consumidor sean competitivos, porque así se tendría una mayor compra de equipos con eficiencias energéticas altas; y se vería reflejado en la disminución de los consumos de energía y por ende en los gastos relacionados.

En otro orden de ideas, también es importante mencionar que dentro de los indicadores y políticas públicas que están relacionadas con los 2 indicadores anteriormente descritos, el concepto de suelos y salarios de la población del país, junto con la variación de los precios de los combustibles para generar electricidad, no afecta de forma significativa a los costos por el uso de los refrigeradores domésticos, ya que aun cuando los gastos en energía aumenten, en los hogares no se deja de consumir energía para satisfacer las necesidades básicas de éste; además de que la mayoría de los hogares ya tienen destinado parte de los salarios para solventar el uso de energía eléctrica.

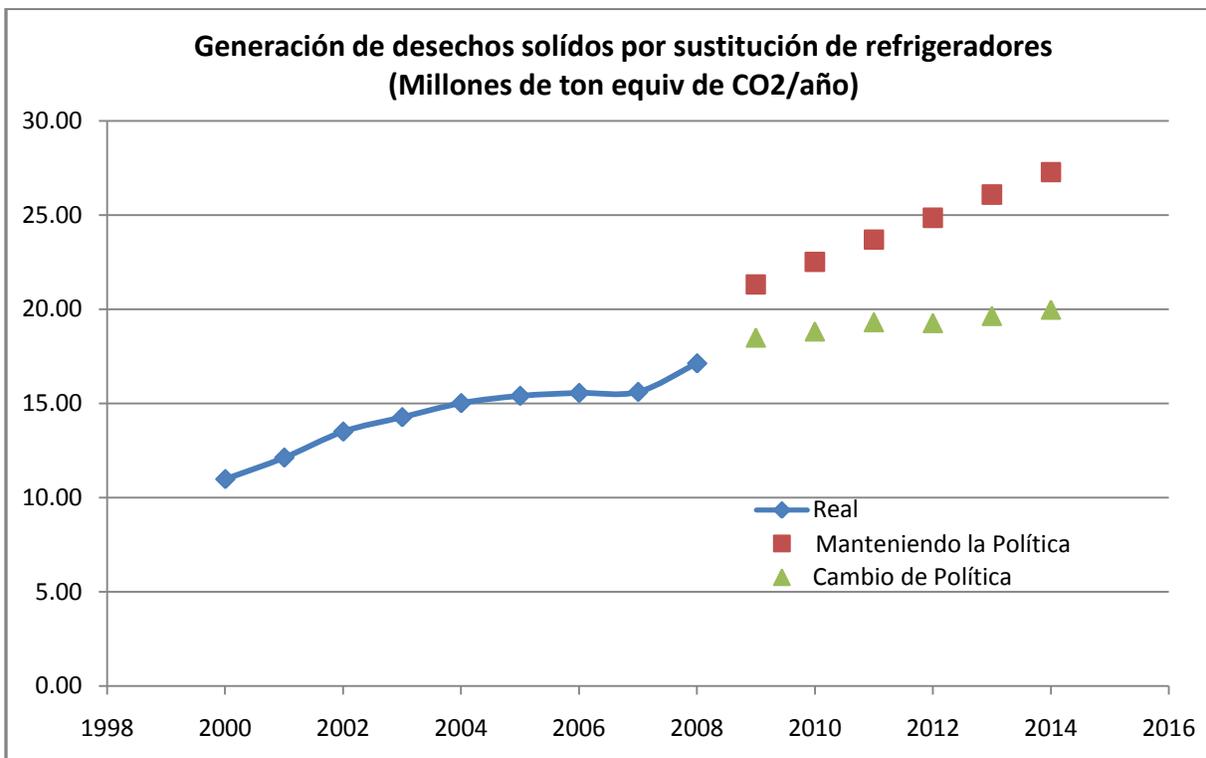
Para la cuestión ambiental se integro un grupo de indicadores energéticos vinculados con las emisiones de CO<sub>2</sub> por el uso de refrigeradores domésticos; con el fin de observar su comportamiento con el paso del tiempo (Gráfica 5.3). De acuerdo a lo analizado se encontró que la tendencia en las emisiones es a la baja, ya que paso del poco más de 10 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> en el año 2000 a 4.5 para el 2008. Este comportamiento debe principalmente a que cada vez los refrigeradores que integran el parque de refrigeradores domésticos tienen mayor eficiencia energética.



Gráfica 5.3. Emisiones de CO<sub>2</sub> por refrigeración doméstica  
Fuente: Elaboración propia

Haciendo la prospectiva del comportamiento conservado la misma tendencia encontramos que las emisiones de CO<sub>2</sub> se reducen de forma considerable cerca del año 2014, ya que estaría alrededor de 1 y 2 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes, aunque es importante señalar que esta tendencia llegara a un punto en donde ya no pueda reducirse más por el hecho de que aun cuando el parque de refrigeradores sea eficiente, este siempre consumirá energía, que se traduce en emisiones de gases efecto invernadero. Si se considera un cambio en la tendencia, lo que se lograría es acelerar la reducción de los niveles de contaminación en un margen de tiempo más corto, pero no se terminaría con ella, ya que ello implicaría que todos los equipos en funcionamiento, junto con los nuevos que entren al mercado, utilicen fuentes alternas de energía para su operación.

Para realizar dicho cambio de tendencia, se tendrán que evaluar las alternativas de una sustitución acelerada del parque de refrigeradores domésticos, para aumentar rápidamente la eficiencia de éstos y contribuir así con la reducción de los niveles de contaminación. Por parte de la generación de desechos sólidos ocasionada por la sustitución de los refrigeradores domésticos, se encontró que las tendencias son a la alza (Gráfica 5.4), ya que para el año 2000, se generaban poco más de 10 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes, y ya para el año 2008, éstas aumentaron a 18 millones, y si se continua con este ritmo de crecimiento para el año 2014 se tendría un aproximado entre 25 y 30 millones de toneladas.

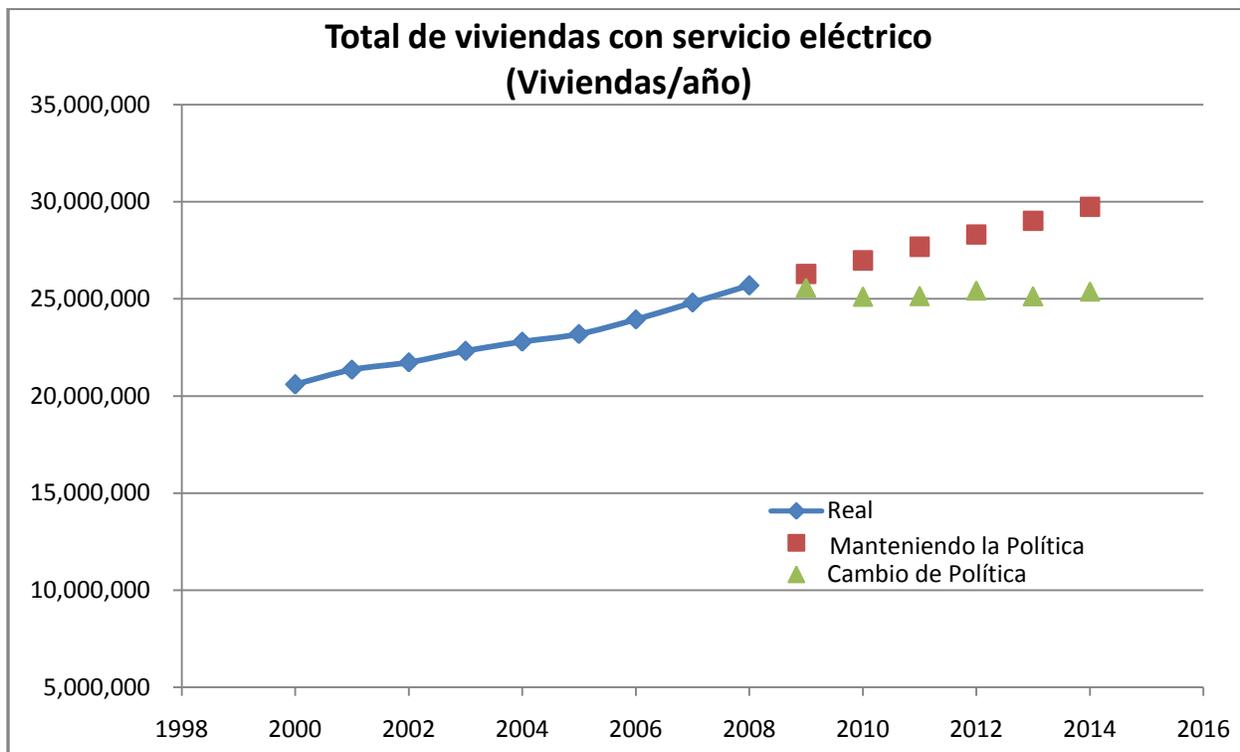


Gráfica 5.4. Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores

Fuente: Elaboración propia

Esto se debe principalmente a la mala planeación de los programas de acopio y reducción contaminantes, ya que son insuficientes para cubrir todas las necesidades, y solo se encuentran en regiones específicas del país. Además esta tendencia aumenta los riesgos ambientales que ocasionan daños a la salud, junto con la proliferación de las sustancias agotadoras de la capa de ozono.

Si se pretende hacer un cambio en la tendencia de este indicador, ésta tiene que efectuarse por medio de programas bien estructurados de acopio, recolección, manejo y disposición de desechos sólidos, relacionados con el cambio de los refrigeradores domésticos. Para tener una reducción en la generación de desechos que ya no se reutilicen más adelante. Con la implementación de este tipo de medidas, la prospectiva hacia el año 2014 sería de poco menos de 20 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, lo que representa 20% menos de lo proyectado si se conserva la misma tendencia; aunque lo ideal es que estos desechos se redujeran al mínimo, y se reciclará en su mayor parte el aparato que sale de funcionamiento. El consumo de sustancias agotadoras de la capa de ozono, no afecta de forma importante la tendencia de los 2 indicadores ambientales ya descritos; esto porque actualmente los refrigeradores domésticos ya no utilizan los freones como refrigerante, sino sustitutos. Mientras que los aparatos que aun cuentan con este tipo de agente son los menos dentro del mercado. Por ello, los indicadores claves están relacionados con el manejo de desechos y el uso de equipos con altas eficiencias energéticas.



Gráfica 5.5. Total de viviendas con servicio eléctrico  
Fuente: Elaboración propia

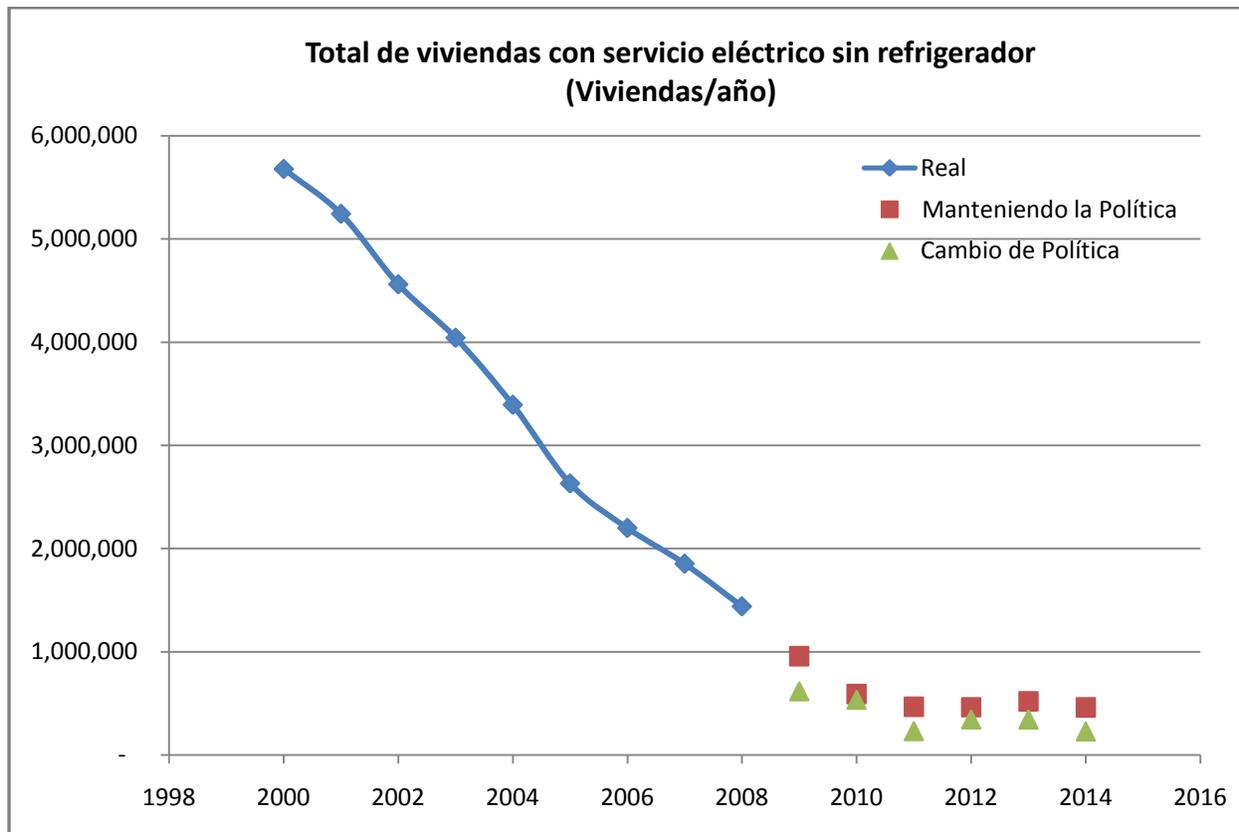
Por otra parte, el análisis de las viviendas que cuentan con servicio eléctrico está vinculado de forma directa con la categoría Social, y como se observa en la gráfica 5.5 la evolución de éstas ha ido creciendo con el paso del tiempo, lo cual es de esperarse ya que la mayor parte de los hogares cuentan con el suministro de electricidad, aunque también existe un grupo reducido que no tiene este servicio, lo cual es un incentivo para la implementación del presente indicador.

El aumento en el número de viviendas con electricidad ha sido entre el año 2000 y 2008 de un 20%, debido a los programas gubernamentales relacionados con el suministro de energía para las zonas residenciales del país, y el incremento en los índices de desarrollo humano, el cual combina tres indicadores, para referirse y clasificar los niveles de desarrollo de la población, dichos indicadores son la esperanza de Vida, la tasa de alfabetismo y los ingresos medidos en términos de PBI per capita. Debido a esto es que podría plantearse un escenario prospectivo que refleje el incremento de los hogares con energía eléctrica alrededor para el año 2014 de casi 30 millones, lo cual se traduce en una mejor calidad de vida para las personas y mejor expectativa de vida.

Además de lo anterior, puede existir la posibilidad de que las expectativas de escenarios no sean lo esperado, sino que la evolución en el aumento de viviendas con refrigerador sea más lenta. Esto se debe a elementos como la tasa de crecimiento de la población, ya que está relacionada directamente con el aumento en el número de viviendas, que genera a su vez la necesidad de proveer servicios básicos como agua y energía, por ello es que se tiene que mantener vigilado este tipo de indicador, ya que podría darse el caso de que la tasa de crecimiento de las viviendas sobrepase de manera importante a la capacidad instalada de generación de energía con la que actualmente se cuentan en el país.

En la gráfica 5.6 se observa un comportamiento interesante en relación con las viviendas que cuentan con energía eléctrica, pero que no tienen un refrigerador doméstico. Para el año 2000 se tenían alrededor de 6 millones de hogares en esa situación, lo cual cambió para el 2008, ya que se redujo esa condición en poco más del 70%, dando como resultado que habían casi 1.5 millones de casas que les faltaba un refrigerador.

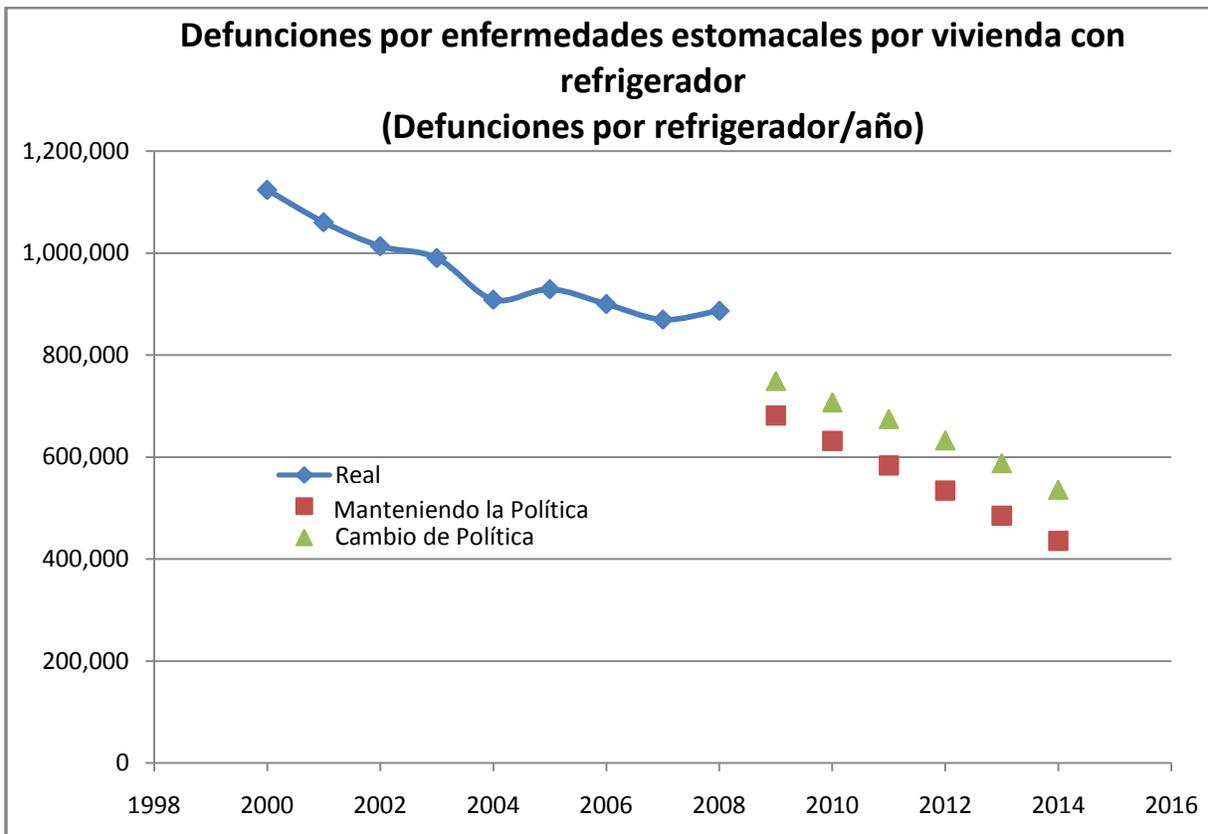
Este comportamiento se debe a los niveles de pobreza que existen en el país, pero es importante mencionar que la tendencia con el paso del tiempo es que todas las viviendas cubran esa necesidad, para ello es importante considerar de igual forma que en el indicador anterior el crecimiento de la población, junto con el aumento de las viviendas, ya que en este caso se presenta un fenómeno interesante que podría llamarse "Heredar mayores consumos de energía". Esto básicamente se debe a que en algunos casos cuando se adquiere una nueva vivienda, las personas se llevan los refrigeradores viejos de los hogares en donde vivían anteriormente.



Gráfica 5.6. Total de viviendas con servicio eléctrico sin refrigerador  
Fuente: Elaboración propia

La tendencia que se presenta en la gráfica 5.6 en algún momento tendrá que estabilizarse, lo cuál quiere decir que si se toma en cuenta la información proporcionada por los indicadores, y se desarrolla una política energética al respecto; se podría cubrir de forma completa el faltante de refrigeradores que existe, pero es importante señalar que no es tan fácil, ya que existen factores que son difíciles de trabajar y no es tan sencillo el manipularlos. Por otra parte, la cuestión relacionada con el reordenamiento territorial, no afecta de forma directa al comportamiento del indicador, ya que aun cuando las viviendas se encuentren asentadas en lugares poco accesibles, siempre ven la forma de tener el recurso energético disponible.

Hasta el momento se han estado estudiando los comportamientos de los indicadores complejos relacionados con las categorías económica, ambiental y social, pero como se describió al inicio, el proceso de jerarquización deberá de contemplar todos los aspectos relacionados con el uso de los refrigeradores domésticos, por lo que se tendrán que incluir los aspectos de salud. Para hacer la incorporación de éstos indicadores se estudiaron diversos casos que pudieran vincularse con el estudio, ya que actualmente no existe este tipo de información; y se llegó a la conclusión de incorporar el concepto de defunciones relacionadas con problemas estomacales en viviendas que cuentan con refrigerador (Gráfica 5.7).

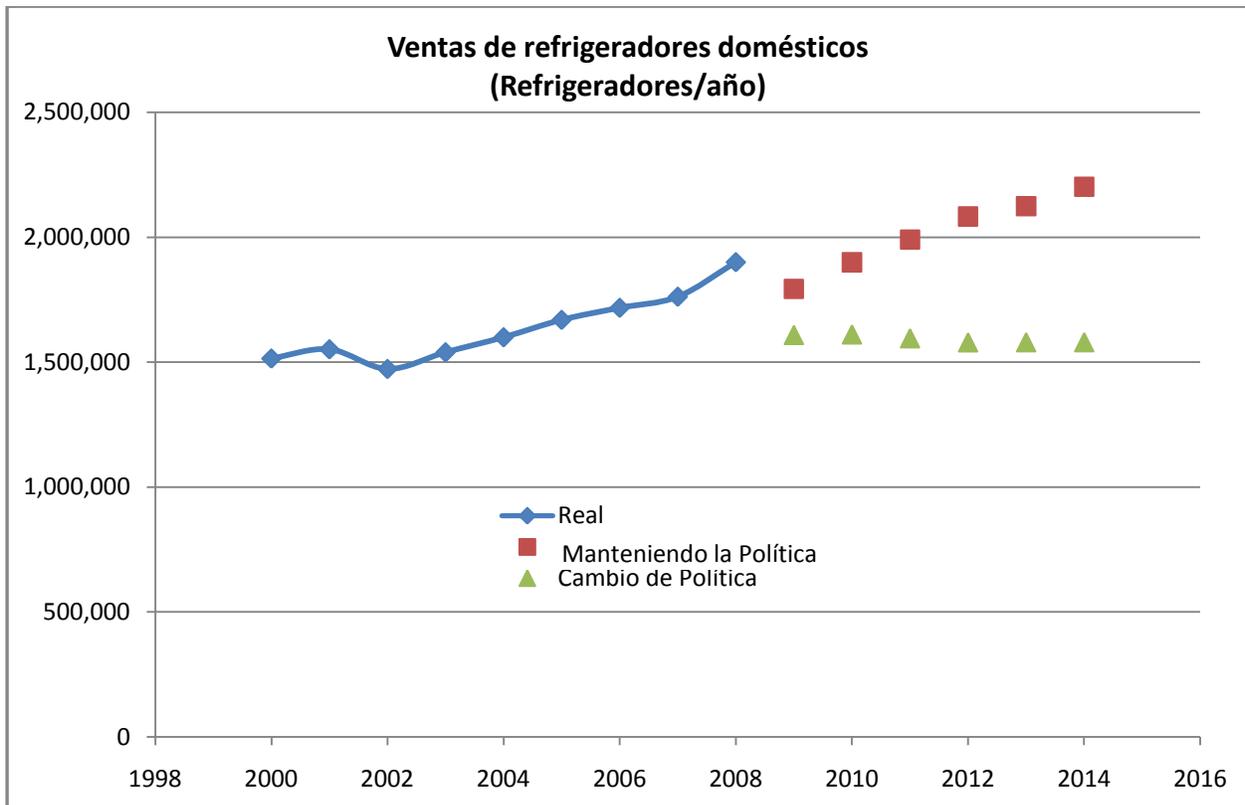


Gráfica 5.7. Defunciones por enfermedades estomacales por vivienda con refrigerador  
Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la gráfica 5.7 los índices de defunciones presentados en el año 2000 eran del orden de 1.5 millones de personas, mientras que para el año 2008 esta tendencia disminuyó alrededor de un 40%, esto se debió al incremento en los servicios de consumo no básico, el donde se encuentran incluidos los refrigeradores domésticos, además del aumento en el uso de éstos para conservar los alimentos en buen estado. Lo ideal en el comportamiento sería que la tasa de defunciones fuera lo menor posible, para lograrlo se tiene que efectuar un programa sobre el uso eficiente de los refrigeradores domésticos, destinados para la preservación de alimentos, aunque cabe señalar que este indicador no es el único que se relaciona con las muertes por ingesta de alimentos descompuestos, ya que la mayor parte de la población consume alimentos fuera de su vivienda, y por ende no se ve reflejado en el indicador. Lo cual está relacionado directamente con las medidas para controlar y revertir la diseminación de enfermedades.

La falta de refrigeradores domésticos en los hogares ocasiona un incremento en las enfermedades estomacales del país, así que es necesario tener tanto una mayor producción de equipos, como aumento en las ventas de éstos (Gráfica 5.8). Dichas ventas están condicionadas al poder adquisitivo de la población y al concepto de

producto de consumo no básico, generándose el hecho de que existan pocos programas para adquirir refrigeradores.

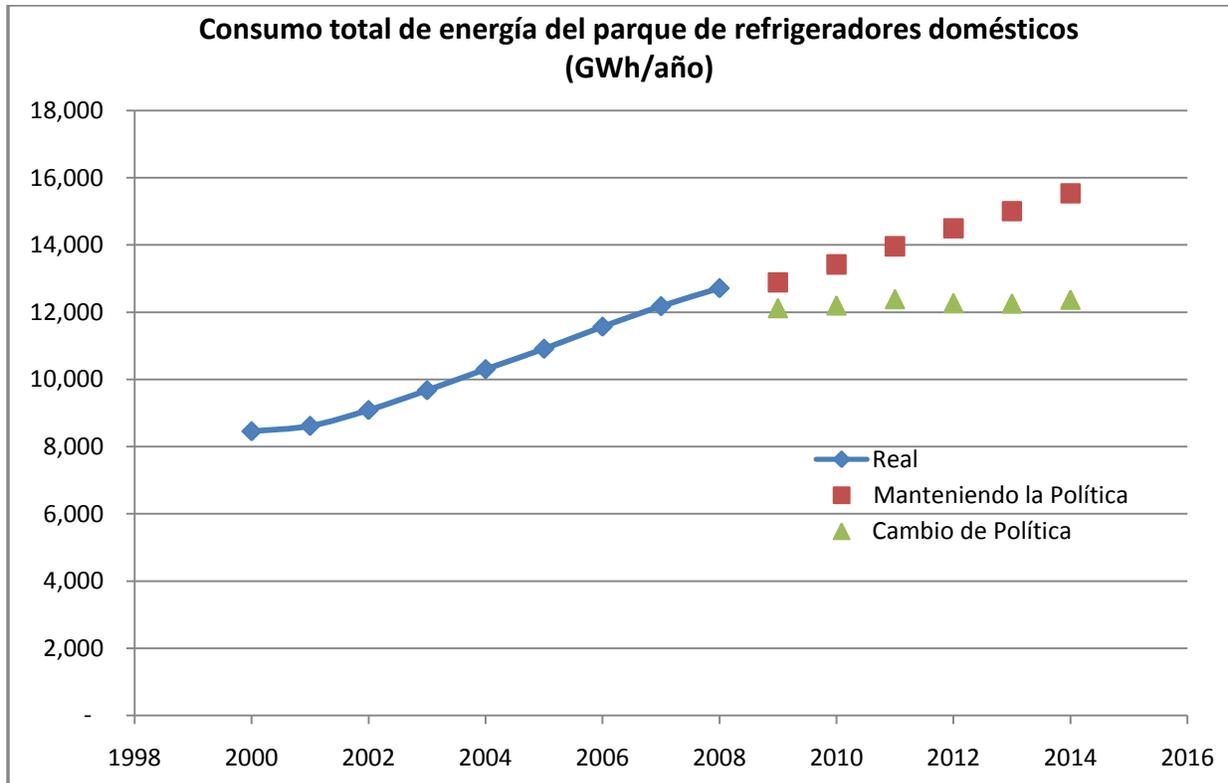


Gráfica 5.8. Ventas de refrigeradores domésticos  
Fuente: Elaboración propia

La tendencia que existe en las ventas de los equipos entre los años 2000 y 2008 es a la alza con una tasa de crecimiento de aproximadamente el 20%, lo cual no alcanza a cubrir las necesidades de la población, y como consecuencia existen los casos de decesos por consumir alimentos descompuestos. Lo que se requiere para tener un cambio en las tendencias es que los fabricantes ofrezcan precios competitivos a los usuarios y que los refrigeradores se consideren dentro de los productos de consumo básico.

Como último análisis de comportamiento de los indicadores a través del tiempo está el relacionado con la categoría tecnológica y el consumo de energía. Como se observa en la gráfica 5.9 la evolución en el uso de la energía destinada para los refrigeradores domésticos ha ido en aumento año con año. En el año 2000 se tenían consumos de poco más de 8,000 GWh/año, mientras que para el 2008 se aumentó hasta más de 12,000 GWh/año y se pronostican escenarios prospectivos en donde se puede alcanzar hasta los 16,000 GWh/año. Este comportamiento se debe a que actualmente existe poca inversión destinada al desarrollo de tecnología, para tener equipos más eficientes. Además de que no hay programas para la sustitución de equipos con más de 20 años

de antigüedad, que son los más ineficientes al momento de estar operando. Por otra parte, dentro de la estructura de las viviendas no se encuentra considerado el refrigerador como un bien, y es nulo su mantenimiento.



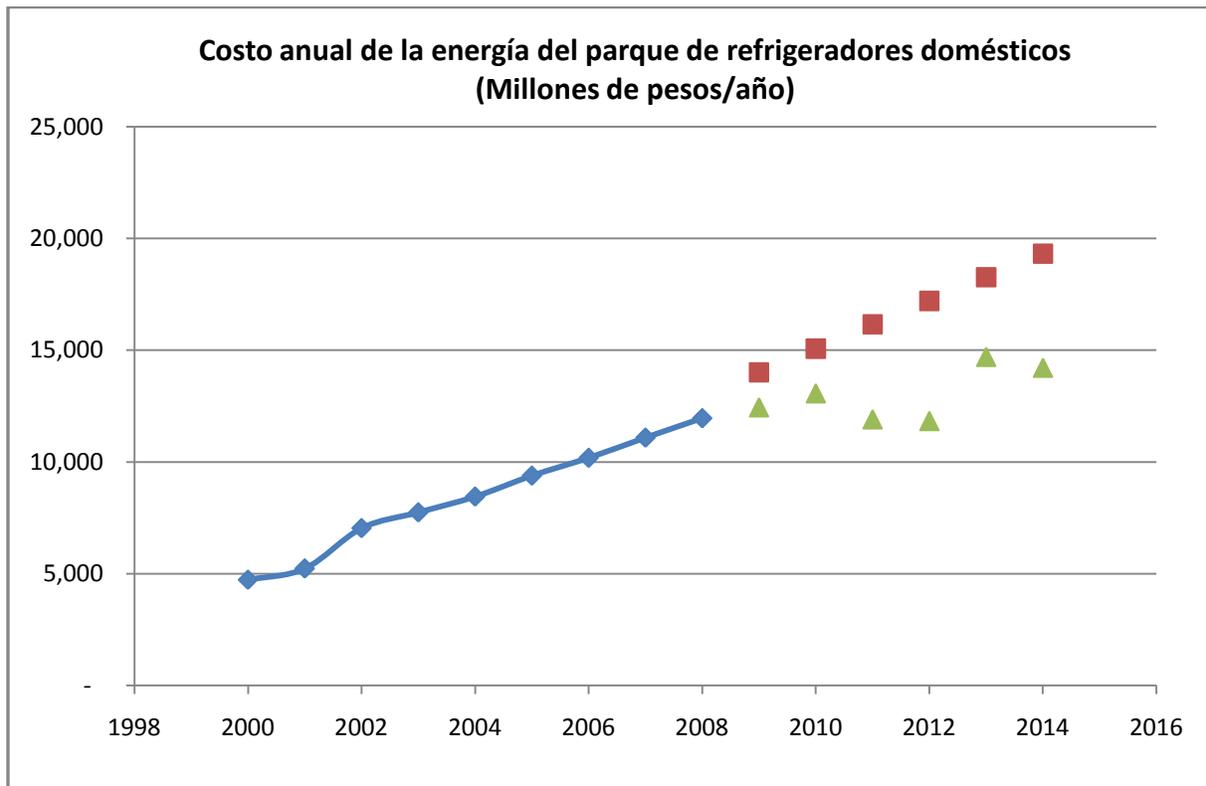
Gráfica 5.9. Consumo de energía de los refrigeradores domésticos

Fuente: Elaboración propia

El consumo de energía de los refrigeradores domésticos no está considerado dentro de las políticas públicas nacionales, por lo que la inversión destinada al uso de energías renovables no afecta al comportamiento; por ello, si se deseara cambiar la tendencia en el comportamiento de indicador es necesario efectuar inversiones destinadas a la investigación y llevar a cabo programas de sustitución acelerada de los equipos de baja eficiencia, por medio de financiamientos adecuados para los usuarios y tomando en cuenta las regiones del país en donde verdaderamente se tenga un impacto económico, ambiental, social y de salud. Si se llevarán a cabo estas medidas existiría un potencial de ahorro de energía de entre 10 y 15% al año, lo cual daría un acumulado al 2014 de poco más del 30% del total que actualmente se consume en el país. Además de que se podrían tener reducciones en las emisiones de contaminantes del orden de 1.7 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> al año<sup>105</sup>.

105 Arroyo, F, Aguillón, J, Ambriz, J, Bernal J. (2010). Potencial de emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas por sustitución de refrigeradores domésticos en México. XXXIV Semana Nacional de Energía Solar. 4 al 9 de Octubre de 2010. Guanajuato. México.

Del análisis realizado al conjunto de indicadores complejos, se desprenden dos posibilidades de escenarios prospectivos, ya sea el mantener la misma tendencia que la rige; o considerar un cambio estructural conforme a los elementos que integran al estudio. Aunque también es importante señalar que la metodología hasta el momento desarrollada tiene la posibilidad de ajustarse en cualquier intervalo de tiempo que se desee, debido a que la organización de la información está basada en el concepto de la teoría multicriterio anteriormente descrito; lo cual hace que las variables, indicadores y categorías sean independiente entre sí. Para dar un ejemplo de este atributo se presenta la gráfica 5.10, que muestra un análisis de cambio y retorno de tendencia para un indicador Macro.



Gráfica 5.10. Ejemplo de ajuste multicriterio (entre 2011 y 2012)

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 5.10 se observa que en un lapso de tiempo (de 2009 a 2010) se mantiene una tendencia para la línea verde, posteriormente cambia la misma (de 2011 a 2012) sin afectar a las anteriores; y finalmente vuelve a mantener el comportamiento (de 2013 a 2014). Esta variabilidad que presenta el indicador Macro, sirve para poder implementar, cambiar o quitar políticas energéticas en un periodo de tiempo específico, y así tener escenarios prospectivos en donde se vea si realmente es necesario considerar ese tipo de políticas, ya que se pueden cambiar de forma automática, y generar una nueva valoración de cada una de las posibles soluciones con base en los objetivos que se tengan.

Como última parte del análisis de escenarios prospectivos, se tienen que ubicar cuáles de los indicadores complejos son los que deben de cambiar su tendencia; y así poder implementar la nueva política energética que rige parte del presente trabajo de investigación. A continuación se presenta la tabla 5.5 que muestra los factores que hacen cambiar la tendencia de las políticas energéticas en un intervalo de tiempo de 2010 a 2014.

**Tabla 5.5. Políticas energéticas que ocasionan cambios en las tendencias de los indicadores complejos por categoría**

<b>Categoría Económica</b>		
Indicador complejo	Política Energética	Status
Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por región	Crecimiento económico	Política que produce un cambio significativo en el indicador
Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por eficiencia	Crecimiento económico	Política que comienza a originar cambios en el indicador
Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por región	Inversión destinada a desarrollo de tecnología	Política que produce un cambio significativo en el indicador
Costo anual de energía del parque de refrigeradores domésticos por eficiencia	Inversión destinada a desarrollo de tecnología	Política que produce un cambio significativo en el indicador
<b>Categoría Ambiental</b>		
Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por región	Reducción de generación de desechos sólidos	Política que produce un cambio significativo en el indicador
Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por estación del año	Reducción de generación de desechos sólidos	Política que comienza a originar cambios en el indicador
Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por tamaño	Manejo integral de desechos sólidos incluyendo el tratamiento y deposición final	Política que comienza a originar cambios en el indicador
Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por región	Reducción de riesgos ambientales causantes de daños a la salud	Política que produce un cambio significativo en el indicador
<b>Categoría Social</b>		
Total de viviendas con servicio eléctrico sin refrigerador por región	Viviendas con cobertura de energía eléctrica	Política que comienza a originar cambios en el indicador
Total de viviendas con servicio eléctrico con refrigerador por tamaño	Viviendas con cobertura de energía eléctrica	Política que comienza a originar cambios en el indicador
Total de viviendas con servicio eléctrico sin	Reducción de los niveles de pobreza	Política que comienza a originar cambios en el indicador

refrigerador por región		
Total de viviendas con servicio eléctrico sin refrigerador por región	Tasa de crecimiento de la población	Política que produce un cambio significativo en el indicador
Total de viviendas con servicio eléctrico sin refrigerador por región	Servicios de consumo no básico	Política que produce un cambio significativo en el indicador
<b>Categoría Salud</b>		
Defunciones por enfermedades estomacales por vivienda con refrigerador por región	Medidas para controlar y revertir la diseminación de enfermedades	Política que comienza a originar cambios en el indicador
Defunciones por enfermedades estomacales por vivienda con refrigerador por región	Servicios de consumo no básico	Política que comienza a originar cambios en el indicador
Ventas de refrigeradores domésticos por región	Servicios de consumo no básico	Política que produce un cambio significativo en el indicador
<b>Categoría Tecnológica</b>		
Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por región	Producción de bienes	Política que comienza a originar cambios en el indicador
Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por región	Inversión destinada al desarrollo tecnológico	Política que produce un cambio significativo en el indicador
Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por estación del año	Producción de bienes	Política que comienza a originar cambios en el indicador
Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por eficiencia	Producción de energía más limpia	Política que comienza a originar cambios en el indicador
Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por eficiencia	Inversión destinada al desarrollo tecnológico	Política que produce un cambio significativo en el indicador
Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por tamaño	Producción de bienes	Política que comienza a originar cambios en el indicador
Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por tamaño	Inversión destinada al desarrollo tecnológico	Política que produce un cambio significativo en el indicador

Fuente: Elaboración propia

Si se desea llevar a cabo un cambio de políticas en la categoría económica, se tiene que contemplar la relación que existe entre el crecimiento económico del país, y el costo anual de la energía del parque de refrigeradores domésticos por región y por eficiencia, ya que se comienzan a originar cambios significativos en el indicador a partir entre 2011 y 2012, y posteriormente en 2014 la política produce un cambio significativo para el estudio. Por parte, la política relacionada con el desarrollo de tecnología produce cambios significativos en los indicadores a partir de 2013.

Para el caso de la categoría ambiental, si se quiere proponer cambios, se tiene que hacer tomando como base al indicador complejo Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores domésticos por región, esto porque la política energética “Reducción de generación de desechos sólidos” esta muy ligada, ya que ésta comienza a originar cambios en las tendencias a partir de 2012 y el 2013 se tienen cambios significativos, lo cual es de esperarse ya que para ese año deberían de haber programas eficientes de recopilación, almacenamiento y reutilización de desechos generados por refrigeradores domésticos. Por otra parte, el indicador de la generación de desechos por estación del año, también es importante dentro del cambio de políticas, ya que tiene el mismo peso de ponderación que el anterior, salvo que éste se tendría que implementar en épocas específicas para observar cambios importantes. Además la reducción de riesgos ambientales causantes de daños a la salud, también ocasionaría cambios significativos en las tendencias del indicador complejo “Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores domésticos por región”, esto porque toda la estructura de categorías esta ligada entre sí, y se pueden observar comportamientos de salud dentro del análisis de la parte ambiental.

En la categoría social se pueden hacer cambios en las tendencias tomando como referencia al indicador complejo “Total de viviendas con servicio eléctrico son refrigerador por región”, esto porque esta ligado con la política energética Viviendas con cobertura de energía eléctrica, la cuál comienza a presentar cambios de 2011 a 2012 y posteriormente genera cambios significativos entre 2013 y 2014, mientras que el indicador complejo del total de viviendas por tamaño presenta similares comportamientos. Por otra parte, la política energética de reducción de los niveles de pobreza en relación con el indicador complejo total de viviendas por región, muestra que entre el año 2010 y 2014, puede mantener una constante en la tendencia, ya que dicha política comienza a incidir en la toma de decisiones relacionada con las construcción de viviendas por región del país.

Para la categoría de salud se encontró que los indicadores complejos macro que pueden incidir directamente en el cambio de políticas son “Defunciones por enfermedades estomacales por vivienda con refrigerador por región” y las “Ventas de refrigeradores por región”, ya que si se desea llevar a cabo un cambio de políticas en esta categoría, se tiene que contemplar la relación que existe entre los indicadores y las medidas para controlar y revertir la diseminación de enfermedades, junto con el aumento en los servicios de consumo no básico; esto porque se comienzan a originar cambios significativos en el intervalo de tiempo de 2011 y 2012, y posteriormente en 2014 la política produce un cambio significativo para el estudio.

En la categoría tecnológica se pueden tener cambios en la tendencia de las políticas si se toman como referencia a los indicadores complejos “Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por región”, “Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por eficiencia” y “Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos por tamaño”, esto porque las políticas energéticas Producción de bienes, Inversión destinada al desarrollo tecnológico y la producción de energía más limpia producen cambios significativos en las tendencias a partir de 2011 y después del 2013 hasta el 2014, lo cual es de esperarse ya que para ese año deberían de existir programas de sustitución de refrigeradores domésticos por región para hacer más eficiente el consumo de energía eléctrica en el país.

De acuerdo con los análisis anteriores se puede mencionar que para cambiar las tendencias de las políticas que actualmente rigen al país (en el intervalo de tiempo de 2010 a 2014), se deben de efectuar cambios en las políticas energéticas involucradas, ya que éstas producen variaciones en los indicadores complejos por categoría, y ocasionan que la estructura piramidal anteriormente desarrollada tenga un nuevo arreglo, el cual se presenta a continuación (Figura 5.9).

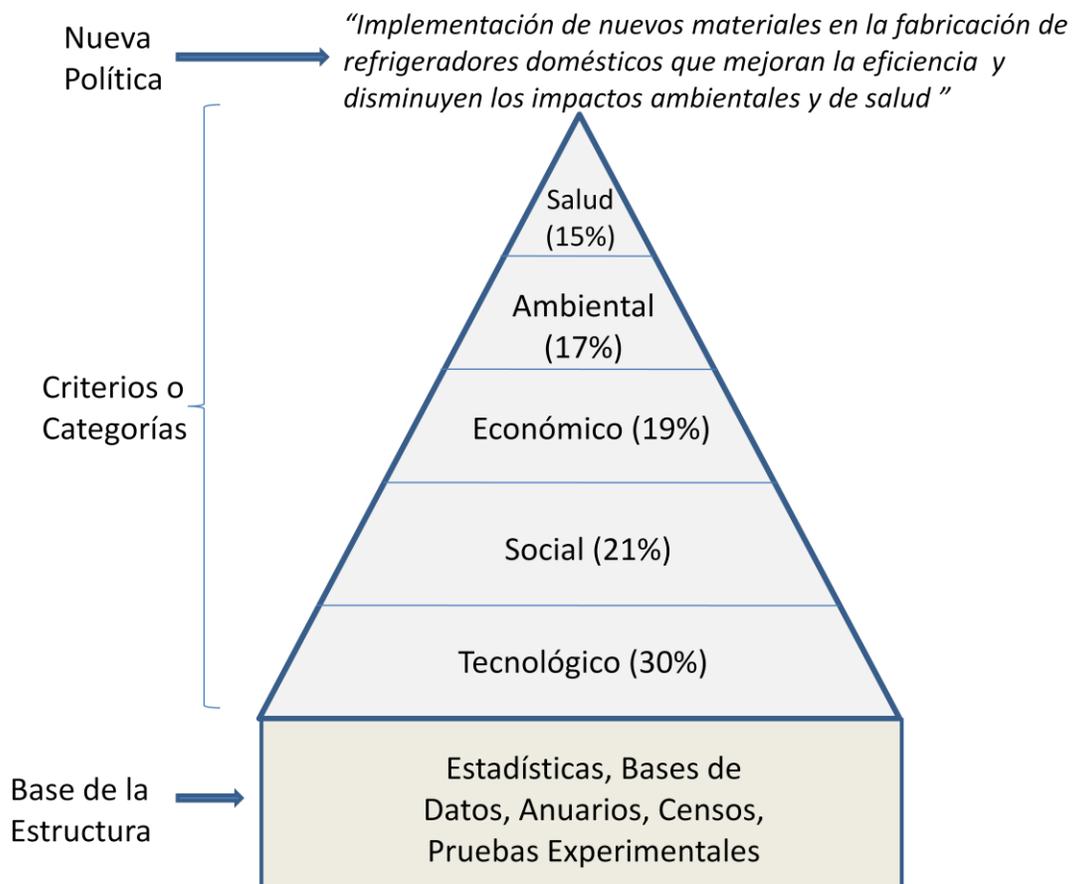


Figura 5.9. Pirámide de jerarquización por categorías año 2014  
Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 5.9, la categoría tecnológica tendrá en el año 2014 un mayor peso en la ponderación, ya que la mayoría de los indicadores complejos que la integran tienen alguna relación con las políticas energéticas gubernamentales, además de que la parte social jugará un papel importante, esto porque la demanda de recursos, como vivienda, energía eléctrica, aparatos electrodomésticos, etc, aumentará cada año. Mientras que los aspectos como la salud el medio ambiente se mantendrá con menor aporte dentro de la estructura piramidal, pero que en conjunto son representativos y se tendrán que priorizar en su momento. Por parte del aspecto económico, se puede mencionar que para el año 2014 será el eje principal para desarrollar políticas energéticas, esto porque se encuentra situada estratégicamente a la mitad de la pirámide, y los criterios de selección e implementación de políticas podrían estar basados en su mayoría en los indicadores complejos que la conforman, ya que tendrían un mayor impacto en las demás categorías.

Con la propuesta de esta metodología de desarrollo de políticas energéticas para el uso eficiente de energía en la refrigeración doméstica en México, junto con el análisis de escenarios prospectivos, y el uso de una escala de jerarquización que permite ubicar a un conjunto de categorías de acuerdo con su prioridad y aporte; se cumplen los objetivos trazados al inicio de esta investigación, ya que ésta metodología representa un trabajo relacionado con la modelización de un entorno por medio de escenarios, en donde el usuario define un escenario básico y la variabilidad de sus indicadores, creando un sistema de información que facilita la selección de los escenarios más interesantes. Solamente restaría integrar un conjunto de conclusiones, donde se plasmarán las experiencias, los aportes y los posibles escenarios a futuro que se tendrían que llevar a cabo, ya que la estructura de indicadores permite extrapolar la metodología desarrollada a casi cualquier otro tipo de análisis.

## 5.7. Resumen

En este capítulo se llevo a cabo una adaptación del proceso de extracción de información para implementar una metodología con la que se pudieron desarrollar escenarios prospectivos relacionados con el uso de los refrigeradores domésticos y su eficiencia, además de estructurarse una pirámide de jerarquización, en donde se muestran los valores porcentuales que aportan cada una de las categorías anteriormente descritas. Dicha propuesta metodológica fue del tipo relacional, que es una colección de tablas que constan de un conjunto de columnas y contienen un número determinado de filas. Cada una de ellas representó un indicador complejo, y tiene una clave o nomenclatura única que lo identifica.

Dentro de la propuesta metodológica se desarrolló un modelo matemático, el cuál tiene la capacidad de predecir como serán los comportamientos de cada uno de los indicadores complejos con el paso del tiempo. A los resultados de esta extrapolación se agregaron elementos de ponderación vinculados con las políticas energéticas, y así se pudo establecer un conjunto de escenarios futuros, que consideran o no cambios en dichas políticas.

Por otra parte, para llevar a cabo la integración de la pirámide de jerarquización, y el planteamiento de escenarios prospectivos, se estructuró un cuadro de mando, basado en los indicadores complejos, y el grupo de políticas energéticas seleccionadas, en donde se analiza de forma particular la contribución de cada uno de los elementos involucrados. Posteriormente se desarrollo un mapeo gráfico, para determinar los juicios de entrada que podrían ser más importantes; y con ello determinar a los indicadores complejos más trascendentales. La pirámide de jerarquización consiste en formalizar la comprensión del problema mediante la construcción de un modelo que le permite al usuario estructurar el problema en forma visual. Ésta se sustentó en el conjunto de indicadores macro que componen cada una de las categorías; junto con los elementos de ponderación llamados “Betas”, los cuáles son asignados por un experto en la materia.

Por último se desarrollaron una serie de escenarios prospectivos tomando como base la estructura de los cuadros de mando, a donde se integraron los indicadores complejos, las políticas públicas relacionadas al tema y los elementos de ponderación que delimitan los comportamientos; y así se desarrollaron una serie de gráficas que describen los comportamientos de los indicadores complejos en un escenario prospectivo de 2009 a 2014, además de presentar una tablas en donde se observan los indicadores que inciden directamente en las políticas energéticas. Con el desarrollo de esta metodología se dan por concluidos y cumplidos los objetivos planteados al inicio del trabajo de investigación; pero cabe mencionar que dicha metodología sienta las bases para llevar a cabo nuevas investigaciones ya que el trabajo se puede adaptar a otros escenarios, incluso de valoración de la sustentabilidad, porque solo se tendrían que cambiar las políticas involucradas y la información de referencia.

## Conclusiones

Las conclusiones responden al cumplimiento del objetivo principal que ha sido el eje principal de este trabajo de investigación, el cual se dirigió a desarrollar una metodología que permita proponer una nueva política energética para el uso eficiente de la energía eléctrica de los refrigeradores domésticos en México, empleando el modelo PER, y el esquema de categorías utilizado por la ONU para el desarrollo sustentable, dando como resultado una estructura de jerarquización de prioridades, la metodología desarrollada se presenta en la figura 5.2.

A modo de reflexión final, se realizaron una serie de conclusiones obtenidas en los distintos capítulos. Asimismo se enumeran posibles escenarios para llevar a cabo la implementación de la nueva política energética relacionada con los refrigeradores domésticos; y finalmente se presentan las posibles líneas futuras de investigación que han surgido en el transcurso del presente trabajo.

Para poder llevar a cabo la propuesta de una nueva política energética, se encontró que los indicadores complejos y Macros producen cambios significativos en las políticas energéticas involucradas en el estudio. Además se observó que la conjugación de los vectores independientes y las políticas energéticas pueden definir de forma clara las tendencias y estructuras de los indicadores Macro. Por ello, en la categoría económica se ubicó que los cambios trascendentales se generan a través de políticas como el desarrollo del producto interno bruto, el índice de precios al consumidor, el crecimiento económico y la inversión destinada al desarrollo de tecnología. Para la categoría medio ambiente, se tienen que considerar la reducción de concentración de emisiones de contaminantes, la disminución en los desechos sólidos generados y la tasa de crecimiento de la población. En la categoría social se tienen identificadas políticas energéticas referidas al ordenamiento territorial, las viviendas con cobertura de energía eléctrica, la tasa de crecimiento de la población, junto con los servicios de consumo no básico. Por parte de la categoría salud, solamente se encuentra identificada la política relacionada con los productos de consumo frecuente, debido a que es una categoría que por el momento no afecta de forma contundente al estudio. Y para la categoría tecnológica se encontró que la producción de bienes y la inversión destinada al desarrollo de tecnológica son las políticas energéticas que ocasionan cambios significativos para poder efectuar la implementación de la nueva política energética perteneciente a los refrigeradores domésticos en México.

Además de la identificación de este conjunto de políticas energéticas, hay también una serie de premisas parciales que deben de cumplirse para poder llevar a cabo la implementación de la nueva política, primeramente el mayor costo anual de la energía eléctrica por refrigeración es en la región Centro y Centro-Occidente, por lo que si se desea implementar una sustitución de refrigeradores, debe comenzarse en esos lugares; y de acuerdo con la información generada en los cuadros de mando, el programa de sustitución tendría que iniciarse en las estaciones del año de otoño e invierno, por el hecho de que cuando se tenga el cambio de los equipos sea antes de

que inicien los meses más calurosos del año. Para que el potencial de ahorro sea significativo, se debe de sustituir los refrigeradores de baja eficiencia.

Por parte de las emisiones de CO<sub>2</sub> por concepto de refrigeración doméstica se tiene que las regiones Centro y Centro-Occidente presentan los mayores valores, esto se debe a que en estas zonas existen las mayores cantidades e refrigeradores, tanto eficientes como de baja eficiencia, por lo que si se quiere llevar a cabo la política energética, estos son los lugares por donde se debe comenzar. Por otra parte, este programa de sustitución de refrigeradores traerá como consecuencia la generación de desechos sólidos, y las mayores concentraciones de éstos serán de igual forma en la región Centro-Occidente y Centro, entonces es necesario el considerar la ejecución de un programa o proyecto de recolección de desechos y disposición final de éstos. Del total de emisiones de CO<sub>2</sub>, los refrigeradores de entre 8 y 11 ft<sup>3</sup> y los de entre 12 y 17 ft<sup>3</sup> son los responsables, por lo que es necesario sustituir los equipos de baja eficiencia que se encuentren dentro de estos rangos de tamaño, y de nueva cuenta el considerar la generación de desechos que se pudiera llegar a tener.

Asimismo, en el aspecto social, existen viviendas que cuentan con energía eléctrica pero que no tienen refrigerador, y el mayor número de estos casos se presentan en las regiones Centro, Centro-Occidente y Sur-Sureste, por ello es importante considerar que aun no existe una saturación completa de la relación vivienda y refrigerador, por lo que es necesario aumentar la producción de refrigeradores y considerar la realización de programas de apoyo económico para adquirir nuevos equipos. Por otra parte, del total de viviendas que cuentan con refrigerador, se tiene que la mayoría están ubicados en el rango de 8 y 11 ft<sup>3</sup> de tamaño, de los cuales un porcentaje de casi el 35% son de baja eficiencia, entonces si se desea implementar la nueva política de sustitución de refrigeradores, por este grupo se debe comenzar, y así tener un mayor impacto económico, ambiental y social.

En el sector salud se presenta el tema relacionado con la defunción de personas por problemas estomacales que cuentan con refrigerador, y las regiones Centro y Sur-Sureste tienen los mayores índices de este indicador Macro, por lo que es necesario involucrar a las personas de estas zonas en lo referente al uso eficiente de la energía y al empleo de refrigeradores para conservar los alimentos. Además de incentivarlos económicamente para que puedan adquirir los aparatos de una forma sencilla y con intereses preferenciales.

Hablando del consumo de energía de los refrigeradores domésticos, se encontró que los mayores potenciales de ahorro están en las regiones Centro, Sur-Sureste y Centro-Occidente, lo cual quiere decir que el parque de refrigeradores de estos lugares es de baja eficiencia, además de que son muchas unidades. Si se desea comenzar a sustituir los equipos viejos se tendría que empezar por los modelos que estén dentro del rango de 12 a 17 ft<sup>3</sup> que tienen el consumo mayor de energía y son muchos de baja eficiencia. El potencial de ahorro de energía que se tendría si se llegara a poner en marcha la nueva política energética en México sería del orden de 4.7 TWh/año, lo que equivaldría al consumo en poco más de dos años del estado de Oaxaca.

Por otra parte, se validó el modelo considerando inicialmente un intervalo de tiempo entre 2000 y 2004, y haciendo la prospectiva hasta 2009 con la misma política, obteniéndose resultados de predicción muy satisfactorios. Así mismo, se plantearon y elaboraron escenarios prospectivos al año 2014, los cuáles fueron analizados de forma breve y concreta; y se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Para la Categoría Económica se encontró que el costo anual de la energía del parque de refrigeradores domésticos para el año 2014 será del orden de \$20,000 millones de pesos si se mantienen las tendencias de seguir con las mismas políticas energéticas, pero si se considera realizar un cambio en éstas por medio del conjunto de indicadores complejos que se desarrollaron a lo largo de la investigación, se podrían tener ahorros potenciales de alrededor del 25%, lo que equivaldría a \$5,000 millones de pesos.
- En la Categoría Ambiental se determinó que las emisiones de CO<sub>2</sub> por refrigeración doméstica para el año 2014 será del orden de 1.1 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>, si se mantienen las mismas políticas, pero si se hacen los cambios pertinentes en ellas, existe un ahorro en potencia de 0.4 millones de toneladas, que sería un aproximado de casi 36%, lo cual es mayor que los potenciales de ahorro obtenidos por programas como el “Hoy no circula”, aunque hay que señalar que dichos ahorros son a nivel país, mientras que el programa vehicular es solo en la zona metropolitana de la Ciudad de México. También en la parte ambiental existe la generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores, que de igual forma para los indicadores anteriores, se encontró que en 2014 habrá poco más de 26 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> generadas, las cuáles se pueden reducir a unas 20 millones por medio del cambio de políticas energéticas a nivel país, a través de programas que se encarguen del manejo y disposición final de este tipo de residuos.
- La Categoría Social contempla el total de viviendas con servicio eléctrico, y de acuerdo con los resultados de la investigación se recomendaría mantener las tendencias de crecimiento prospectivo (2010-2014) de las políticas que actualmente rigen al país, ya que cumplen parte de los objetivos que aplican; o en su defecto se puede proponer la elaboración de nuevos mecanismos que permitan aumentar gradualmente la oferta de energía eléctrica para el país, aunque es importante mencionar que esto depende de varios factores que están fuera de la investigación. Por otra parte, también existe la situación del total de viviendas con servicio eléctrico sin refrigerador, que como en el indicador anterior, las tendencias son favorables; y solamente se encomendaría el aumentar la producción de refrigeradores de la mano de programas gubernamentales para poder adquirir equipos a bajo precio o por medio de financiamientos accesibles y con bajas tasas de interés.

- Por parte de la Categoría de Salud, existe el indicador relacionado con las defunciones por enfermedades estomacales por vivienda con refrigerador, el cual presenta tendencias prospectivas a la baja, con ritmos de decrecimiento del orden de 5 y 8% anual, lo que significa que no solo está involucrado en el sector salud este tipo de indicador, sino que hay más factores que están mezclados, y por consecuencia se tendrá que abundar en este tema en un futuro. También dentro de esta categoría existen las ventas de refrigeradores domésticos; en donde se observa que tienen una tendencia continua y a la alza con el paso del tiempo; lo cual se encuentra acorde con las políticas energéticas actuales; solamente se recomendaría aumentar gradualmente las ventas tomando como referencia el incremento en el número de viviendas por región y a nivel país; dando como resultado un posible crecimiento en la producción de refrigeradores del orden de 500,000 unidades al año, que sumado con las ventas actuales daría un total de 2,000,000 de refrigeradores, los cuáles podrían cubrir el nicho faltante en un periodo de 4 o 5 años, dependiendo del ritmo de ventas, el poder adquisitivo de los hogares y los programas de apoyo para adquirir nuevos aparatos de mayor eficiencia energética.
- Para la Categoría Tecnológica se estimo el indicador Consumo total de energía del parque de refrigeradores domésticos, y se encontró que para el 2014 puede existir un consumo de poco mas de 16,000 GWh/año si se continúan con las políticas energéticas actuales, pero si se llegarán a cambiar éstas políticas por medio del conjunto de los indicadores que se desarrollaron a través de la presente investigación, se tendrán ahorros potenciales aproximados de un 22% al año, lo que equivale a casi 3,500 GWh/año, por ello es importante hacer cambios en las políticas actuales de forma gradual y en un horizonte de 5 años a partir de 2011.

El reajuste de las categorías para llevar a cabo el cambio de política propuesto se presenta en la figura 5.9.

Otra conclusión importante es que la metodología permite que las políticas puedan reevaluarse en el intervalo de tiempo que se desee, y analizar si es necesario afectar la tendencia en los años posteriores, esto porque tanto los indicadores complejos como las políticas gubernamentales pueden ser independientes entre sí.

Por último es importante mencionar que a lo largo del presente trabajo se han puesto de manifiesto paralelamente otras futuras líneas de investigación; principalmente relacionadas con la metodología que aquí se desarrolló. Esto debido a que se puede emplear en cualquier otro tipo de electrodoméstico, o mejor aun en otro tipo de bien o comparación de los mismos, ya que el marco metodológico siempre será el mismo, y lo único que cambia son los datos, las categorías que la integren y los indicadores que se deseen generar.

Además es recomendable mejorar la metodología con los conceptos de análisis de ciclo de vida y/o de vigilancia tecnológica, los cuáles aportaran nuevos indicadores complejos a las categorías presentadas, es decir nuestra investigación sienta las bases para realizar estudios y poder calificar el desarrollo sustentable en diferentes tecnologías.

## Bibliografía

1. Agencia Internacional de Energía (2005). Nociones fundamentales de seguridad de la AIE. Principios fundamentales para la gestión de desechos sólidos. Viena Austria.
2. Agencia Internacional de Energía (2008). Indicadores energéticos del desarrollo sostenible: Directrices y metodologías. EUROSAT.
3. ANFAD (2008). Anuarios estadísticos de ventas y producción de aparatos electrodomésticos (De 2000 a 2008).
4. Arroyo Cabañas, Fernando. (2002). Estudio de la eficiencia energética de refrigeradores domésticos dentro de un laboratorio de ambiente controlado. Tesis de Maestría. UNAM. DEPMI.
5. Arroyo, F, Aguillón, J y Ambriz, J. (2005). Evaluación experimental del consumo de energía eléctrica de refrigeradores domésticos en México. XI Congreso internacional anual de la SOMIM - IV Congreso Bolivariano de la SOBIM. Morelia Michoacán. Agosto 2005.
6. Arroyo Cabañas, Aguillón Martínez, Ambriz García y Canizal Jiménez. (2009). "Electric energy saving potential by substitution of domestic refrigerators in Mexico", Energy Policy, Volume 37, Issue 11, November 2009
7. Arroyo, F, Aguillón, J, Ambriz, J, Bernal J. (2010). Potencial de emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas por sustitución de refrigeradores domésticos en México. XXXIV Semana Nacional de Energía Solar. 4 al 9 de Octubre de 2010. Guanajuato. México.
8. Belton, V. Stewart, T. (2002). Multiple criteria decision analysis: an integrated approach. Kluwer Academic Press. Boston USA.
9. Comisión Federal de Electricidad. (2008). Tarifas Eléctricas periodo de 2000 a 2008.
10. Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda, CONAFOVI. (2007). Guía para el uso eficiente de la energía en la vivienda. Guía CONAFOVI. México, D.F, 2006.
11. Consejos consultivos para el desarrollo sustentable. (2008). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. SEMARNAT
12. Cruz Lario, Esteban. (2004). Análisis y definición de escenarios en programación estocástica para la gestión de la cadena de suministros en el sector del automóvil. III Jornadas de Ingeniería de Organización. Barcelona, 16-17 de septiembre de 2004.

- 13.** Cuellar Pineda, Jorge. (2007). Guía básica para la elaboración de indicadores en el sector público. Dirección General de Evaluación y Comisariado. Gobierno del Distrito Federal.
- 14.** Chevalier, S; R. Choiniere y L. Bernier. (1992): User guide to 40 Communing Health Indicators. Community Health Division. Health and Welfare Canada, Ottawa.
- 15.** Díaz Bautista Alejandro. (2005). La Necesidad de una Reforma Estructural y una Política Energética Integral en México para el Desarrollo del País. Observatorio de la Economía Latinoamericana. Revista académica de economía.
- 16.** Duran, Gema. (2006). Medir la sostenibilidad: Indicadores Económicos, Ecológicos y Sociales. Departamento de Estructura Económica y Economía del Desarrollo. Universidad Autónoma de Madrid
- 17.** El medio Ambiente en Europa. (2005). Conjunto básico de indicadores, estado y perspectivas. Comisión Nacional Europea del Medio Ambiente.
- 18.** EUROSAT. (2000). Waste generated in Europe. Data 1985-1997. Luxemburgo. Eurostat.
- 19.** EUROSAT. (2002). Energy and environment indicators. 2002 Edition, Luxemburgo.
- 20.** EUROSTAT. (2003). Calculation of indicators of environmental pressures caused by transport. Luxemburgo, Comunidades Europeas
- 21.** FIDE-Banco Mundial. (2008). Evaluación ambiental del programa de sustitución de refrigeradores y aires acondicionados domésticos para el ahorro de energía eléctrica.
- 22.** French, S. Geldermann, J. (2005). The varied contexts of environmental decision problems and their implications for decision support. Environmental Science and Policy 8(4):378-391.
- 23.** Gallopín, G.C. (1996). Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators, a system approach. Environmental Modeling and Assessment.
- 24.** Gerencia de protección ambiental. (2007). Programa de Ahorro Sistema Integral (ASI). Sustitución de Refrigeradores y Equipos de Aire Acondicionado. Comisión Federal de Electricidad. Dirección de Proyectos de Inversión Financiada.

- 25.** Gligo, N. (1997). Política, sustentabilidad ambiental y evaluación patrimonial, Pensamiento Iberoamericano, núm. 12, pp. 23-39.
- 26.** Hernández, J. Ramírez, M. Ferri, C. (2007). Introducción a la minería de datos. 1era Edición Pearson Prentice Hall. Madrid, España.
- 27.** Houghton, J. T. Meira Filho, L. G. y Lim, B. (1997). Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases efecto invernadero, versión revisada en 1996. IPCC/OCDE/IEA. Bracknell: UK Meteorological Office.
- 28.** ILO. (1998). Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Ginebra Suiza. Organización Internacional del Trabajo
- 29.** Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI (1990). Censo de Población y Vivienda.
- 30.** Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI (2000). Censo de Población y Vivienda.
- 31.** Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI (1995). Censo de Población y Vivienda.
- 32.** Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI (2005). Censo de Población y Vivienda.
- 33.** Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI. (2004). Indicadores de desarrollo sustentable en México.
- 34.** Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI (2005). Encuesta ingreso gasto. México 2000 a 2005.
- 35.** Kaplan, Norton. (1997). Strategy Maps. San Francisco EUA. Ed. Morgan Kaufmann.
- 36.** Kapp, K. W. (1995). Los indicadores ambientales como indicadores de los valores sociales de uso. Economía de los recursos naturales: un enfoque institucional, Economía y Naturaleza, núm. 2, Fundación Argentaria, Madrid.
- 37.** Keeney, R. L y Raiffa, H. (1976). Decisions with multiple objectives. 1° Edition John Wiley and sons. New York.
- 38.** Lind, Marchal y Mason. (2004). Estadística para administración y economía. 11ava. Edición. Alfa Omega Grupo Editor, México D.F.

- 39.** Luz y Fuerza del Centro. (2000). Anuarios Estadísticos de tarifas eléctricas (2000 a 2008).
- 40.** Morales, J. (2002). Análisis de los requerimientos de enfriamiento en la vivienda. Centro de Investigaciones y Estudios de Posgrado. Facultad de Arquitectura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- 41.** Norma Oficial Mexicana. NOM-015-ENER-2002; Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos – Límite, métodos de prueba y etiquetado. Diario Oficial, México D.F., 15 de Enero del 2003.
- 42.** Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), 2003. Environmental Indicators. Development, Measurement and use.
- 43.** Ott, W.R. (1995): Environmental Statistics and Data Analysis. Lewis Publishers. Boca Raton. California.
- 44.** OCDE (2001): OCDE Environmental Outlook. OCDE Paris, France.
- 45.** OCDE (2001). Key Environmental Indicators. Paris, France.
- 46.** OCDE. (2010). Perspectivas OCDE: México Políticas Clave para un Desarrollo Sostenible. OCDE.
- 47.** OIEA. (1999). Comparative assessment of the health and environment impacts of various energy systems from severe accidents. Working material. Proceeding of a technical committee meeting, Vienna Austria.
- 48.** Perspectivas de la OCDE. (2010). México políticas claves para un desarrollo sostenible. OCDE.
- 49.** Plan Nacional de Desarrollo. (2007-2012). Estados Unidos Mexicanos. Secretaria de Gobernación.
- 50.** Ribeiro, María. Nobuyoshi, Carlos. (2006). Diagnóstico e avaliação dos serviços de limpeza urbana por indicadores e índices no estado de mato grosso do sul. Revista AIDIS de ingenierías y ciencias ambientales: Investigación, desarrollo y práctica. Vol 1, No.1
- 51.** Robles Luna, Teresa. (2006). Elaboración de indicadores para proyectos ambientales. PROARCA/CAPAS.

- 52.** Savory, Allan. (2005). Manejo Holístico. Un nuevo marco metodológico para la toma de decisiones. 1era Edición en Español. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología.
- 53.** Secretaria de Salud (2009). Informe de actividades sector salud México 2006-2008.
- 54.** Sistema Meteorológico Nacional. (2008). Reportes temperaturas por Estado (2005-2009).
- 55.** Secretaria de Gobernación. (2009). Informes de Gobierno. (2005 a 2008).
- 56.** Secretaria de Gobernación. (2008). Plan nacional de desarrollo, Gobierno Federal (2006-2012).
- 57.** TERM. (2004). Indicators tracking transport and environmental integration in the European Union. EEA Report No. 3/2004. Copenhagen Dinamarca.
- 58.** Thomopoulos, Nick, (1980). Applied forecasting methods. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliff, N.J. pp. 74-92.
- 59.** Toskano Hurtado Gerard. (2006). El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. Tesis Digitales UNMSM. Universidad Mayor de San Marcos. Perú.
- 60.** UNDESA. (2001). Indicators of sustainable development: Framework and Methodologies Background paper No.3 CSD9, UNDESA/DSD/2001/3, April 2001, New York. E.U.
- 61.** UNDESA. (2001). Indicators of sustainable development guidelines and methodologies, 2nd edition, Septiembre. Nueva York. Departamento de asuntos económicos y sociales de las naciones unidas.
- 62.** Van Der Heijden, K. (1996). Scenarios: the art of strategic conversation, Ed. Wiley.
- 63.** Witten, Frank. (2000). Data mining. Practical machine learning tools and techniques with java implementations, Morgan Kaufmann Publishers.
- 64.** World Bank (1997): Expanding the measure of wealth: indicators of environmentally sustainable development. Environmentally Sustainable Development Studies and Monographs Series, núm. 17, The World Bank, Washington, D. C.

---

## Sitios de Internet

### Sitios Nacionales

1. <http://www.presidencia.gob.mx/>
2. <http://www.sener.gob.mx/>
3. <http://www.cfe.gob.mx/Paginas/Home.aspx>
4. <http://www.cnh.gob.mx/>
5. <http://www.cre.gob.mx/>
6. <http://fide.codice.com/home/home.asp>
7. <http://vmwl1.iae.org.mx/sitioIAE/sitio/indice.php>
8. <http://www.imp.mx/>
9. <http://www.pemex.com/index.cfm>
10. <http://www.conae.gob.mx/>
11. <http://www.inegi.gob.mx>
12. <http://www.ifai.gob.mx/>
13. [http://www.sener.gob.mx/webSener/res/722/EAyPMACorregido100610\\_Final.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/722/EAyPMACorregido100610_Final.pdf)
14. <http://www.presidencia.gob.mx/prensa/discursos/?contenido=36736>

### Sitios Internacionales

1. <http://www.ornl.gov/>
2. <http://www.centreforenergy.com/AboutEnergy/>
3. <http://web.upmf-grenoble.fr/iepe/>
4. <http://my.epri.com/portal/server.pt>
5. <http://www.idae.es/index.php>

6. <http://www.eere.energy.gov/>
7. <http://www.ari.org/>
8. <http://www.olade.org/>
9. <http://www.dirinfo.unsl.edu.ar/~aamd/Teorias/teo1md4.pdf>
10. <http://www.emea.apesoft.com/desde-oracle/04LPgh04de09.pdf>
11. [http://ardent.mit.edu/real\\_options/RO\\_current\\_lectures/SPANISH\\_multiattribute\\_utility.pdf](http://ardent.mit.edu/real_options/RO_current_lectures/SPANISH_multiattribute_utility.pdf)
12. [www.cepal.org](http://www.cepal.org)
13. [www.cytex.org](http://www.cytex.org)
14. [www.eclac.cl/ilpes](http://www.eclac.cl/ilpes)
15. [www.oas.org](http://www.oas.org)
16. [www.undp.org/spanish](http://www.undp.org/spanish)
17. [www.europa.eu.int](http://www.europa.eu.int)
18. [www.unesco.org](http://www.unesco.org)
19. <http://www.eia.doe.gov/>
20. <http://www.iea.org/>
21. <http://www.bp.com/bodycopyarticle.do?categoryId=1&contentId=7052055>
22. <http://www.worldenergy.org/>
23. <http://www.nrel.gov/>
24. <http://estepais.com/site/wp-content/uploads/2010/03/indicadoresINEGI228.pdf>
25. <http://rotativo.com.mx/universitarias/ocupa-mexico-ultimo-lugar-en-inversion-a-ciencia-y-tecnologia-ocde/21413/html/>
26. <http://www.abm.org.mx/estudios/20070315%20ABM%20Estudio%20comparado%20Banca%20Retail%20Mexico%20Nota%20de%20prensa%20vfg.pdf>

## Anexo I

### Indicadores Simples

Tipo de indicador	Descripción	Definición	Unidad
Presión	Costo anual total de energía sector residencial	Costo de la energía eléctrica utilizada por el sector residencial por país	\$/año
Presión	Costo anual total de energía sector residencial por región	Costo de la energía eléctrica utilizada por el sector residencial por región del país	\$/año
Presión	Precios medios de la electricidad en el sector residencial por país	Costo de la energía eléctrica utilizada en el sector residencial por país	\$/kWh
Presión	Precios medios de la electricidad en el sector residencial por región	Costo de la energía eléctrica utilizada en el sector residencial por región del país	\$/kWh
Presión	Emisiones de gases de efecto invernadero por refrigeración doméstica	Cantidad de gases generados por país	Ton de CO <sub>2</sub> eq/año
Presión	Emisiones de CO <sub>2</sub> por refrigeración doméstica	Cantidad de gases generados por país	Ton de CO <sub>2</sub> eq/año
Presión	Emisiones de CO <sub>2</sub> por habitante	Cantidad de gases generados por habitante en el país	Ton de CO <sub>2</sub> eq/año
Presión	Emisiones de CFC's por refrigeración doméstica	Cantidad de gases CFC's generados en el país	Ggr CO <sub>2</sub> eq/año
Presión	Emisiones de HFC-134 <sub>a</sub> por refrigeración doméstica	Cantidad de gases HFC-134a generados en el país	Ggr CO <sub>2</sub> eq/año
Presión	Total de refrigeradores domésticos	Cantidad de refrigeradores domésticos por país	Refrigeradores/año
Presión	Total de refrigeradores por región	Número de refrigeradores por región del país	Refrigeradores/año
Presión	Evolución de la Población	Aumento en el número de habitantes en el país	Habitantes/año

Presión	Evolución de la población urbana	Variación en el número de habitantes en zonas urbanas de país	Habitantes/año
Presión	Evolución de la población urbana por región	Variación en el número de habitantes en zonas urbanas por región del país	Habitantes/año
Presión	Evolución de la población rural	Variación en el número de habitantes en zonas rurales de país	Habitantes/año
Presión	Evolución de la población rural por región	Variación en número de habitantes en zonas rurales por región del país	Habitantes/año
Presión	Viviendas en el sector residencial	Número de viviendas en el sector residencial por país	Viviendas/año
Presión	Viviendas en el sector residencial por región	Número de viviendas en el sector residencial por región del país	Viviendas/año
Presión	Hogares sin refrigerador	Número de viviendas sin refrigerador sector residencial por país	Hogares sin refrigerador/año
Presión	Hogares sin refrigerador por región	Número de viviendas sin refrigerador sector residencial por región del país	Hogares sin refrigerador/año
Presión	Costo anual total de energía sector residencial	Costo de la energía eléctrica utilizada por el sector residencial por país	\$/año
Presión	Costo anual total de energía sector residencial por región	Costo de la energía eléctrica utilizada por el sector residencial por región del país	\$/año
Presión	Total de refrigeradores domésticos	Cantidad de refrigeradores domésticos por país	Refrigeradores/año
Presión	Total de refrigeradores por región	Número de refrigeradores por región del país	Refrigeradores/año
Presión	Total de refrigeradores por	Cantidad de refrigeradores	Refrigeradores/año

	antigüedad	domésticos por antigüedad país	
Presión	Total de refrigeradores por antigüedad y región	Cantidad de refrigeradores domésticos por antigüedad y región por país	Refrigeradores/año
Presión	Total de refrigeradores por antigüedad, región y tamaño	Cantidad de refrigeradores domésticos por antigüedad, región y tamaño por país	Refrigeradores/año
Presión	Total de refrigeradores de baja eficiencia	Cantidad de refrigeradores domésticos de baja eficiencia por país	Refrigeradores/año
Presión	Total de refrigeradores de baja eficiencia por región	Cantidad de refrigeradores domésticos de baja eficiencia por región del país	Refrigeradores/año
Presión	Sustitución del parque de refrigeradores domésticos	Ventas de refrigeradores domésticos por país	Refrigeradores/año
Presión	Sustitución del parque de refrigeradores domésticos por región	Ventas de refrigeradores domésticos por región de país	Refrigeradores/año
Presión	Sustitución del parque de refrigeradores domésticos por fabricante	Ventas de refrigeradores domésticos por fabricante	Refrigeradores/año
Presión	Total de Refrigeradores que salen de funcionamiento	Cantidad de refrigeradores domésticos que salen del mercado por país	Refrigeradores/año
Presión	Total de refrigeradores eficientes por país	Cantidad de refrigeradores domésticos eficientes por país	Refrigeradores/año
Presión	Total de refrigeradores eficientes por región	Cantidad de refrigeradores domésticos eficientes por región del país	Refrigeradores/año
Presión	Total de refrigeradores	Cantidad de refrigeradores	Refrigeradores/año

	domésticos	domésticos por país	
Presión	Victimas mortales por ingesta de alimentos descompuestos	Cantidad de personas que fallecen por infecciones estomacales por país	Número de personas/año
Presión	Costo anual total de energía sector residencial	Costo de la energía eléctrica utilizada por el sector residencial por país	\$/año
Presión	Costo anual total de energía sector residencial por región	Costo de la energía eléctrica utilizada por el sector residencial por región del país	\$/año
Presión	Precio de los refrigeradores domésticos	Costo de los refrigeradores domésticos por modelo o capacidad	\$/año
Presión	Evolución de la Población	Aumento en el número de habitantes en el país	Habitantes/año
Presión	Evolución de la población urbana	Variación en el número de habitantes en zonas urbanas de país	Habitantes/año
Presión	Evolución de la población urbana por región	Variación en el número de habitantes en zonas urbanas por región del país	Habitantes/año
Presión	Evolución de la población rural	Variación en el número de habitantes en zonas rurales de país	Habitantes/año
Presión	Evolución de la población rural por región	Variación en número de habitantes en zonas rurales por región del país	Habitantes/año
Presión	Hogares sin refrigerador	Número de viviendas sin refrigerador sector residencial por país	Hogares sin refrigerador/año
Presión	Hogares sin refrigerador por región	Número de viviendas sin refrigerador sector residencial por región del país	Hogares sin refrigerador/año

Tipo de indicador	Descripción	Definición	Unidad
Estado	Precio de los refrigeradores domésticos	Costo de los refrigeradores domésticos por modelo o capacidad	\$/año
Estado	Gastos por refrigeración en los hogares por región	Gasto destinado a la refrigeración en los hogares por región	\$/año
Estado	Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por país	Cantidad de desechos sólidos generados por refrigerador doméstico por país	kg/año
Estado	Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por región	Cantidad de desechos sólidos generados por refrigerador doméstico por región del país	kg/año
Estado	Generación de emisiones de CO <sub>2</sub> por refrigeración doméstica	Cantidad de gases generados por país	Ton de CO <sub>2</sub> eq/año
Estado	Generación de emisiones de CFC <sup>s</sup> por refrigeración doméstica	Cantidad de gases generados por país	Ton de CO <sub>2</sub> eq/año
Estado	Hogares con energía eléctrica	Número de hogares sin electricidad por país	Viviendas/año
Estado	Hogares con energía eléctrica por región	Número de hogares sin electricidad por región del país	Viviendas/año
Estado	Hogares sin energía eléctrica	Número de hogares sin electricidad por país	Viviendas/año
Estado	Hogares sin energía eléctrica por región	Número de hogares sin electricidad por región del país	Viviendas/año
Estado	Gastos por refrigeración en los hogares por región	Gasto destinado a la refrigeración en los hogares por región	\$/año
Estado	Costo por el cambio de refrigerador doméstico	Costo por el cambio de un refrigerador usado por uno nuevo	\$/año
Estado	Consumo total de energía	Cantidad de energía consumida por el	GWh/año

		parque de refrigeradores domésticos	
Estado	Consumo de energía por región	Cantidad de energía consumida por refrigeración por región del país	GWh/año
Estado	Consumo de energía de refrigeradores de baja eficiencia por región	Cantidad de energía consumida por refrigeradores de baja eficiencia por región del país	GWh/año
Estado	Consumo de energía por antigüedad	Cantidad de energía consumida por el parque de refrigeradores domésticos por país	GWh/año
Estado	Consumo de energía por región y por época de año	Cantidad de energía consumida por el parque de refrigeradores domésticos	GWh/año
Estado	Consumo de energía por región y tamaño	Cantidad de energía consumida por el parque de refrigeradores domésticos por región y tamaño	GWh/año
Estado	Consumo de energía por región, tamaño y época del año	Cantidad de energía consumida por el parque de refrigeradores domésticos por región, tamaño y época del año	GWh/año
Estado	Consumo de energía por antigüedad y región	Cantidad de energía consumida por el parque de refrigeradores domésticos por antigüedad y región por país	GWh/año
Estado	Consumo de energía por antigüedad, región y tamaño	Cantidad de energía consumida por el parque de refrigeradores	GWh/año

		domésticos por antigüedad, región y tamaño por país	
Estado	Número de habitantes por refrigerador	Relación entre el número de habitantes y el parque de refrigeradores domésticos	Habitantes refrigeradores/año
Estado	Gastos por refrigeración en los hogares por región	Gasto destinado a la refrigeración en los hogares por región	\$/año
Estado	Costo por el cambio de refrigerador doméstico	Costo por el cambio de un refrigerador usado por uno nuevo	\$/año
Estado	Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por país	Cantidad de desechos sólidos generados por refrigerador doméstico por país	kg/año
Estado	Generación de desechos sólidos por sustitución de refrigeradores por región	Cantidad de desechos sólidos generados por refrigerador doméstico por región del país	kg/año

Tipo de indicador	Descripción	Definición	Unidad
Respuesta	Costo por el cambio de refrigerador doméstico	Costo por el cambio de un refrigerador usado por uno nuevo	\$/año
Respuesta	Gastos de transportación de desechos	Gastos para el traslado desechos generados por los refrigeradores domésticos	\$/año
Respuesta	Gastos de tratamientos de desechos	Costo por el tratamiento de desechos de los refrigeradores domésticos	\$/año
Respuesta	Programa de recopilación de refrigeradores de baja eficiencia	Costo de la recopilación de refrigeradores domésticos	\$/año
Respuesta	Ahorro de energía por cambio de refrigerador doméstico	Ahorros por el cambio de refrigerador de baja eficiencia por uno mas eficiente	kWh/año
Respuesta	Apoyo gubernamental para adquirir refrigeradores domésticos	Financiamiento para la adquisición de refrigeradores domésticos	\$/año
Respuesta	Disminución de los precios de los refrigeradores domésticos	Precio sugerido para los refrigeradores domésticos	\$/refrigerador
Respuesta	Eliminación de desechos domésticos generados por refrigeradores domésticos por país	Cantidad de desechos sólidos eliminados por refrigerador doméstico por país	kg/año
Respuesta	Eliminación de desechos domésticos generados por refrigeradores domésticos por región	Cantidad de desechos sólidos eliminados por refrigerador doméstico por región del país	kg/año
Respuesta	Desechos reciclados	Cantidad de desechos reciclados y usados de los refrigeradores domésticos que salen del mercado	kg/año
Respuesta	Emisiones de CO <sub>2</sub>	Cantidad de gases	Ton de CO <sub>2</sub> eq/año

	evitadas por sustitución de refrigeradores	evitados por país	
Respuesta	Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas por sustitución de refrigeradores por región	Cantidad de gases evitados por región	Ton de CO <sub>2</sub> eq/año
Respuesta	Emisiones de CFC <sup>s</sup> evitadas por sustitución de refrigeradores	Cantidad de gases evitados por país	Ton de CO <sub>2</sub> eq/año
Respuesta	Emisiones de HFC-134a evitadas por sustitución de refrigeradores	Cantidad de gases evitados por país	Ton de CO <sub>2</sub> eq/año
Respuesta	Ahorro de energía por cambio de refrigerador doméstico	Ahorros por el cambio de refrigerador de baja eficiencia por uno mas eficiente	\$/año
Respuesta	Apoyo gubernamental para adquirir refrigeradores domésticos	Financiamiento para la adquisición de refrigeradores domésticos	\$/año
Respuesta	Disminución de los precios de los refrigeradores domésticos	Precio sugerido para los refrigeradores domésticos	\$/refrigerador
Respuesta	Cambio de refrigerador doméstico	Sustitución de refrigeradores domésticos de baja eficiencia por modelos de poco consumo	Refrigeradores/año
Respuesta	Cambio de refrigerador doméstico por región	Sustitución de refrigeradores domésticos de baja eficiencia por modelos de poco consumo por región	Refrigeradores/año
Respuesta	Complemento de la saturación del parque de refrigeradores domésticos por país	Número de refrigeradores domésticos faltantes en viviendas del país	Refrigeradores/año
Respuesta	Complemento de la saturación del parque de refrigeradores	Número de refrigeradores domésticos faltantes	Refrigeradores/año

	domésticos por región	en viviendas por región del país	
Respuesta	Potencial de ahorro de energía por sustitución del parque de refrigeradores por país	Ahorro de energía por sustitución de refrigeradores	GWh/año
Respuesta	Potencial de ahorro de energía por sustitución del parque de refrigeradores por región por país	Ahorro de energía por sustitución de refrigeradores por región	GWh/año
Respuesta	Cambio de refrigerador doméstico	Sustitución de refrigeradores domésticos de baja eficiencia por modelos de poco consumo	Refrigeradores/año
Respuesta	Cambio de refrigerador doméstico por región	Sustitución de refrigeradores domésticos de baja eficiencia por modelos de poco consumo por región	Refrigeradores/año
Respuesta	Complemento de la saturación del parque de refrigeradores domésticos por país	Número de refrigeradores domésticos faltantes en viviendas del país	Refrigeradores/año
Respuesta	Complemento de la saturación del parque de refrigeradores domésticos por región	Número de refrigeradores domésticos faltantes en viviendas por región del país	Refrigeradores/año
Respuesta	Gastos de transportación de desechos	Gastos para el traslado desechos generados por los refrigeradores domésticos	\$/año
Respuesta	Gastos de tratamientos de desechos	Costo por el tratamiento de desechos de los refrigeradores domésticos	\$/año
Respuesta	Programa de recopilación de refrigeradores de baja eficiencia	Costo de la recopilación de refrigeradores domésticos	\$/año

Respuesta	Ahorro de energía por cambio de refrigerador doméstico	Ahorros por el cambio de refrigerador de baja eficiencia por uno mas eficiente	\$/año
Respuesta	Apoyo gubernamental para adquirir refrigeradores domésticos	Financiamiento para la adquisición de refrigeradores domésticos	\$/año
Respuesta	Disminución de los precios de los refrigeradores domésticos	Precio sugerido para los refrigeradores domésticos	\$/refrigerador
Respuesta	Cambio de refrigerador doméstico	Sustitución de refrigeradores domésticos de baja eficiencia por modelos de poco consumo	Refrigeradores/año
Respuesta	Cambio de refrigerador doméstico por región	Sustitución de refrigeradores domésticos de baja eficiencia por modelos de poco consumo por región	Refrigeradores/año
Respuesta	Complemento de la saturación del parque de refrigeradores domésticos por país	Número de refrigeradores domésticos faltantes en viviendas del país	Refrigeradores/año
Respuesta	Complemento de la saturación del parque de refrigeradores domésticos por región	Número de refrigeradores domésticos faltantes en viviendas por región del país	Refrigeradores/año

## Anexo II

### Variables independientes que explican la variable dependiente por categoría

<b>Categoría Económica</b>	
<b>Región Vs. Estación de año</b>	
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>
X1	Costo anual de Energía Región Noroeste Primavera
X2	Costo anual de Energía Región Noroeste Verano
X3	Costo anual de Energía Región Noroeste Otoño
X4	Costo anual de Energía Región Noroeste Invierno
X5	Costo anual de Energía Región Noreste Primavera
X6	Costo anual de Energía Región Noreste Verano
X7	Costo anual de Energía Región Noreste Otoño
X8	Costo anual de Energía Región Noreste Invierno
X9	Costo anual de Energía Región Centro-Occidente Primavera
X10	Costo anual de Energía Región Centro-Occidente Verano
X11	Costo anual de Energía Región Centro-Occidente Otoño
X12	Costo anual de Energía Región Centro-Occidente Invierno
X13	Costo anual de Energía Región Centro Primavera
X14	Costo anual de Energía Región Centro Verano
X15	Costo anual de Energía Región Centro Otoño
X16	Costo anual de Energía Región Centro Invierno
X17	Costo anual de Energía Región Sur-Sureste Primavera
X18	Costo anual de Energía Región Sur-Sureste Verano
X19	Costo anual de Energía Región Sur-Sureste Otoño
X20	Costo anual de Energía Región Sur-Sureste Invierno
<b>Región Vs. Eficiencia</b>	
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>
X1	Costo anual de la Energía Región Noroeste Eficientes
X2	Costo anual de la Energía Región Noroeste Baja Eficiencia
X3	Costo anual de la Energía Región Noreste Eficientes
X4	Costo anual de la Energía Región Noreste Baja Eficiencia
X5	Costo anual de la Energía Región Centro-Occidente Eficientes
X6	Costo anual de la Energía Región Centro-Occidente Baja Eficiencia
X7	Costo anual de la Energía Región Centro Eficientes
X8	Costo anual de la Energía Región Centro Baja Eficiencia
X9	Costo anual de la Energía Región Sur-Sureste Eficientes
X10	Costo anual de la Energía Región Sur-Sureste Baja Eficiencia
<b>Región Vs. Tamaño</b>	
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>
X1	Costo anual de la Energía Región Noroeste Tamaño 1
X2	Costo anual de la Energía Región Noroeste Tamaño 2
X3	Costo anual de la Energía Región Noroeste Tamaño 3
X4	Costo anual de la Energía Región Noreste Tamaño 1

X5	Costo anual de la Energía Región Noreste Tamaño 2
X6	Costo anual de la Energía Región Noreste Tamaño 3
X7	Costo anual de la Energía Región Centro-Occidente Tamaño 1
X8	Costo anual de la Energía Región Centro-Occidente Tamaño 2
X9	Costo anual de la Energía Región Centro-Occidente Tamaño 3
X10	Costo anual de la Energía Región Centro Tamaño 1
X11	Costo anual de la Energía Región Centro Tamaño 2
X12	Costo anual de la Energía Región Centro Tamaño 3
X13	Costo anual de la Energía Región Sur-Sureste Tamaño 1
X14	Costo anual de la Energía Región Sur-Sureste Tamaño 2
X15	Costo anual de la Energía Región Sur-Sureste Tamaño 3
<b>Estación del año Vs. Eficiencia</b>	
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>
X1	Costo anual de la Energía Estación del año Primavera Eficiente
X2	Costo anual de la Energía Estación del año Primavera Baja Eficiencia
X3	Costo anual de la Energía Estación del año Verano Eficiente
X4	Costo anual de la Energía Estación del año Verano Baja Eficiencia
X5	Costo anual de la Energía Estación del año Otoño Eficiente
X6	Costo anual de la Energía Estación del año Otoño Baja Eficiencia
X7	Costo anual de la Energía Estación del año Invierno Eficiente
X8	Costo anual de la Energía Estación del año Invierno Baja Eficiencia
<b>Estación del año Vs. Tamaño</b>	
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>
X1	Costo anual de la Energía Estación del año Primavera Tamaño 1
X2	Costo anual de la Energía Estación del año Primavera Tamaño 2
X3	Costo anual de la Energía Estación del año Primavera Tamaño 3
X4	Costo anual de la Energía Estación del año Verano Tamaño 1
X5	Costo anual de la Energía Estación del año Verano Tamaño 2
X6	Costo anual de la Energía Estación del año Verano Tamaño 3
X7	Costo anual de la Energía Estación del año Otoño Tamaño 1
X8	Costo anual de la Energía Estación del año Otoño Tamaño 2
X9	Costo anual de la Energía Estación del año Otoño Tamaño 3
X10	Costo anual de la Energía Estación del año Invierno Tamaño 1
X11	Costo anual de la Energía Estación del año Invierno Tamaño 2
X12	Costo anual de la Energía Estación del año Invierno Tamaño 3
<b>Eficiencia Vs. Tamaño</b>	
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>
X1	Costo anual de la Energía Eficiente Tamaño 1
X2	Costo anual de la Energía Eficiente Tamaño 2
X3	Costo anual de la Energía Eficiente Tamaño 3
X4	Costo anual de la Energía baja Eficiencia Tamaño 1
X5	Costo anual de la Energía baja Eficiencia Tamaño 2
X6	Costo anual de la Energía baja Eficiencia Tamaño 3

<b>Categoría Ambiental</b>	
<b>Región Vs. Estación de año</b>	
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>
X1	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Noroeste Primavera
X2	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Noroeste Verano
X3	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Noroeste Otoño
X4	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Noroeste Invierno
X5	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Noreste Primavera
X6	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Noreste Verano
X7	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Noreste Otoño
X8	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Noreste Invierno
X9	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Centro-Occidente Primavera
X10	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Centro-Occidente Verano
X11	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Centro-Occidente Otoño
X12	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Centro-Occidente Invierno
X13	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Centro Primavera
X14	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Centro Verano
X15	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Centro Otoño
X16	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Centro Invierno
X17	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Sur-Sureste Primavera
X18	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Sur-Sureste Verano
X19	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Sur-Sureste Otoño
X20	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Sur-Sureste Invierno
<b>Región Vs. Costo por sustitución por Estación de año</b>	
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>
X1	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Noroeste costo en Primavera
X2	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Noroeste costo en Verano
X3	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Noroeste costo en Otoño
X4	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Noroeste costo en Invierno
X5	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Noreste costo en Primavera
X6	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Noreste costo en Verano
X7	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Noreste costo en Otoño
X8	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Noreste costo en Invierno
X9	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Centro-Occidente costo en Primavera
X10	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Centro-Occidente costo en Verano
X11	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Centro-Occidente costo en Otoño
X12	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Centro-Occidente costo en Invierno
X13	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Centro costo en Primavera
X14	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Centro costo en Verano
X15	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Centro costo en Otoño
X16	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Centro costo en Invierno
X17	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Sur-Sureste costo en Primavera
X18	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Sur-Sureste costo en Verano
X19	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Sur-Sureste costo en Otoño

X20	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Sur-Sureste costo en Invierno
<b>Región Vs. Tamaño</b>	
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>
X1	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Noroeste Tamaño 1
X2	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Noroeste Tamaño 2
X3	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Noroeste Tamaño 3
X4	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Noreste Tamaño 1
X5	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Noreste Tamaño 2
X6	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Noreste Tamaño 3
X7	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Centro-Occidente Tamaño 1
X8	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Centro-Occidente Tamaño 2
X9	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Centro-Occidente Tamaño 3
X10	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Centro Tamaño 1
X11	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Centro Tamaño 2
X12	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Centro Tamaño 3
X13	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Sur-Sureste Tamaño 1
X14	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Sur-Sureste Tamaño 2
X15	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Sur-Sureste Tamaño 3
<b>Región Vs. Costo por sustitución por Tamaño</b>	
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>
X1	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Noroeste Tamaño 1
X2	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Noroeste Tamaño 2
X3	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Noroeste Tamaño 3
X4	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Noreste Tamaño 1
X5	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Noreste Tamaño 2
X6	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Noreste Tamaño 3
X7	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Centro-Occidente Tamaño 1
X8	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Centro-Occidente Tamaño 2
X9	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Centro-Occidente Tamaño 3
X10	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Centro Tamaño 1
X11	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Centro Tamaño 2
X12	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Centro Tamaño 3
X13	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Sur-Sureste Tamaño 1
X14	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Sur-Sureste Tamaño 2
X15	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Región Sur-Sureste Tamaño 3
<b>Estación del Año Vs. Tamaño</b>	
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>
X1	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Estación del año Primavera Tamaño 1
X2	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Estación del año Primavera Tamaño 2
X3	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Estación del año Primavera Tamaño 3
X4	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Estación del año Verano Tamaño 1
X5	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Estación del año Verano Tamaño 2
X6	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Estación del año Verano Tamaño 3
X7	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Estación del año Otoño Tamaño 1
X8	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Estación del año Otoño Tamaño 2

X9	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Estación del año Otoño Tamaño 3
X10	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Estación del año Invierno Tamaño 1
X11	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Estación del año Invierno Tamaño 2
X12	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Estación del año Invierno Tamaño 3
<b>Estación del Año Vs. Costo por sustitución por Tamaño</b>	
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>
X1	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Estación del año Primavera Tamaño 1
X2	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Estación del año Primavera Tamaño 2
X3	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Estación del año Primavera Tamaño 3
X4	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Estación del año Verano Tamaño 1
X5	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Estación del año Verano Tamaño 2
X6	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Estación del año Verano Tamaño 3
X7	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Estación del año Otoño Tamaño 1
X8	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Estación del año Otoño Tamaño 2
X9	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Estación del año Otoño Tamaño 3
X10	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Estación del año Invierno Tamaño 1
X11	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Estación del año Invierno Tamaño 2
X12	Toneladas Equivalentes de CO <sub>2</sub> Estación del año Invierno Tamaño 3

<b>Categoría Social</b>	
<b>Región Vs. Viviendas Electrificadas</b>	
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>
X1	Viviendas sector residencial Región Noroeste
X2	Viviendas sector residencial Región Noreste
X3	Viviendas sector residencial Región Centro-Occidente
X4	Viviendas sector residencial Región Centro
X5	Viviendas sector residencial Región Sur-Sureste
<b>Región Vs. Viviendas Electrificadas sin refrigerador</b>	
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>
X1	Viviendas sector residencial Región Noroeste sin refrigerador
X2	Viviendas sector residencial Región Noreste sin refrigerador
X3	Viviendas sector residencial Región Centro-Occidente sin refrigerador
X4	Viviendas sector residencial Región Centro sin refrigerador
X5	Viviendas sector residencial Región Sur-Sureste sin refrigerador
<b>Región Vs. Viviendas Electrificadas con refrigerador por tamaño</b>	
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>
X1	Viviendas sector residencial Región Noroeste Tamaño 1
X2	Viviendas sector residencial Región Noroeste Tamaño 2
X3	Viviendas sector residencial Región Noroeste Tamaño 3
X4	Viviendas sector residencial Región Noreste Tamaño 1
X5	Viviendas sector residencial Región Noreste Tamaño 2
X6	Viviendas sector residencial Región Noreste Tamaño 3
X7	Viviendas sector residencial Región Centro-Occidente Tamaño 1
X8	Viviendas sector residencial Región Centro-Occidente Tamaño 2
X9	Viviendas sector residencial Región Centro-Occidente Tamaño 3
X10	Viviendas sector residencial Región Centro Tamaño 1
X11	Viviendas sector residencial Región Centro Tamaño 2
X12	Viviendas sector residencial Región Centro Tamaño 3
X13	Viviendas sector residencial Región Sur-Sureste Tamaño 1
X14	Viviendas sector residencial Región Sur-Sureste Tamaño 2
X15	Viviendas sector residencial Región Sur-Sureste Tamaño 3
<b>Viviendas Electrificadas Vs. Viv. Elect. con refrigerador por tamaño</b>	
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>
X1	Viviendas sector residencial Electrificadas Tamaño 1
X2	Viviendas sector residencial Electrificadas Tamaño 2
X3	Viviendas sector residencial Electrificadas Tamaño 3

<b>Categoría Salud</b>	
<b>Región Vs. Defunciones</b>	
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>
X1	Defunciones por infecciones estomacales Región Noroeste
X2	Defunciones por infecciones estomacales Región Noreste
X3	Defunciones por infecciones estomacales Región Centro-Occidente
X4	Defunciones por infecciones estomacales Región Centro
X5	Defunciones por infecciones estomacales Región Sur-Sureste
<b>Región Vs. Ventas de refrigeradores</b>	
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>
X1	Defunciones por infecciones estomacales Región Noroeste
X2	Defunciones por infecciones estomacales Región Noreste
X3	Defunciones por infecciones estomacales Región Centro-Occidente
X4	Defunciones por infecciones estomacales Región Centro
X5	Defunciones por infecciones estomacales Región Sur-Sureste
<b>Región Vs. Ventas de refrigeradores por tamaño</b>	
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>
X1	Defunciones por infecciones estomacales Región Noroeste Tamaño 1
X2	Defunciones por infecciones estomacales Región Noroeste Tamaño 2
X3	Defunciones por infecciones estomacales Región Noroeste Tamaño 3
X4	Defunciones por infecciones estomacales Región Noreste Tamaño 1
X5	Defunciones por infecciones estomacales Región Noreste Tamaño 2
X6	Defunciones por infecciones estomacales Región Noreste Tamaño 3
X7	Defunciones por infecciones estomacales Región Centro-Occidente Tamaño 1
X8	Defunciones por infecciones estomacales Región Centro-Occidente Tamaño 2
X9	Defunciones por infecciones estomacales Región Centro-Occidente Tamaño 3
X10	Defunciones por infecciones estomacales Región Centro Tamaño 1
X11	Defunciones por infecciones estomacales Región Centro Tamaño 2
X12	Defunciones por infecciones estomacales Región Centro Tamaño 3
X13	Defunciones por infecciones estomacales Región Sur-Sureste Tamaño 1
X14	Defunciones por infecciones estomacales Región Sur-Sureste Tamaño 2
X15	Defunciones por infecciones estomacales Región Sur-Sureste Tamaño 3
<b>Defunciones Vs. Ventas de refrigeradores por tamaño</b>	
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>
X1	Defunciones por infecciones estomacales Tamaño 1
X2	Defunciones por infecciones estomacales Tamaño 2
X3	Defunciones por infecciones estomacales Tamaño 3

<b>Categoría Tecnológica</b>	
<b>Región Vs. Estación de año</b>	
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>
X1	Consumo de Energía Región Noroeste Primavera
X2	Consumo de Energía Región Noroeste Verano
X3	Consumo de Energía Región Noroeste Otoño
X4	Consumo de Energía Región Noroeste Invierno
X5	Consumo de Energía Región Noreste Primavera
X6	Consumo de Energía Región Noreste Verano
X7	Consumo de Energía Región Noreste Otoño
X8	Consumo de Energía Región Noreste Invierno
X9	Consumo de Energía Región Centro-Occidente Primavera
X10	Consumo de Energía Región Centro-Occidente Verano
X11	Consumo de Energía Región Centro-Occidente Otoño
X12	Consumo de Energía Región Centro-Occidente Invierno
X13	Consumo de Energía Región Centro Primavera
X14	Consumo de Energía Región Centro Verano
X15	Consumo de Energía Región Centro Otoño
X16	Consumo de Energía Región Centro Invierno
X17	Consumo de Energía Región Sur-Sureste Primavera
X18	Consumo de Energía Región Sur-Sureste Verano
X19	Consumo de Energía Región Sur-Sureste Otoño
X20	Consumo de Energía Región Sur-Sureste Invierno
<b>Región Vs. Eficiencia</b>	
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>
X1	Consumo de Energía Región Noroeste Eficientes
X2	Consumo de Energía Región Noroeste Baja Eficiencia
X3	Consumo de Energía Región Noreste Eficientes
X4	Consumo de Energía Región Noreste Baja Eficiencia
X5	Consumo de Energía Región Centro-Occidente Eficientes
X6	Consumo de Energía Región Centro-Occidente Baja Eficiencia
X7	Consumo de Energía Región Centro Eficientes
X8	Consumo de Energía Región Centro Baja Eficiencia
X9	Consumo de Energía Región Sur-Sureste Eficientes
X10	Consumo de Energía Región Sur-Sureste Baja Eficiencia
<b>Región Vs. Tamaño</b>	
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>
X1	Consumo de Energía Región Noroeste Tamaño 1
X2	Consumo de Energía Región Noroeste Tamaño 2
X3	Consumo de Energía Región Noroeste Tamaño 3
X4	Consumo de Energía Región Noreste Tamaño 1
X5	Consumo de Energía Región Noreste Tamaño 2
X6	Consumo de Energía Región Noreste Tamaño 3
X7	Consumo de Energía Región Centro-Occidente Tamaño 1

X8	Consumo de Energía Región Centro-Occidente Tamaño 2
X9	Consumo de Energía Región Centro-Occidente Tamaño 3
X10	Consumo de Energía Región Centro Tamaño 1
X11	Consumo de Energía Región Centro Tamaño 2
X12	Consumo de Energía Región Centro Tamaño 3
X13	Consumo de Energía Región Sur-Sureste Tamaño 1
X14	Consumo de Energía Región Sur-Sureste Tamaño 2
X15	Consumo de Energía Región Sur-Sureste Tamaño 3
<b>Estación del año Vs. Eficiencia</b>	
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>
X1	Consumo de Energía Estación del año Primavera Eficiente
X2	Consumo de Energía Estación del año Primavera Baja Eficiencia
X3	Consumo de Energía Estación del año Verano Eficiente
X4	Consumo de Energía Estación del año Verano Baja Eficiencia
X5	Consumo de Energía Estación del año Otoño Eficiente
X6	Consumo de Energía Estación del año Otoño Baja Eficiencia
X7	Consumo de Energía Estación del año Invierno Eficiente
X8	Consumo de Energía Estación del año Invierno Baja Eficiencia
<b>Estación del año Vs. Tamaño</b>	
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>
X1	Consumo de Energía Estación del año Primavera Tamaño 1
X2	Consumo de Energía Estación del año Primavera Tamaño 2
X3	Consumo de Energía Estación del año Primavera Tamaño 3
X4	Consumo de Energía Estación del año Verano Tamaño 1
X5	Consumo de Energía Estación del año Verano Tamaño 2
X6	Consumo de Energía Estación del año Verano Tamaño 3
X7	Consumo de Energía Estación del año Otoño Tamaño 1
X8	Consumo de Energía Estación del año Otoño Tamaño 2
X9	Consumo de Energía Estación del año Otoño Tamaño 3
X10	Consumo de Energía Estación del año Invierno Tamaño 1
X11	Consumo de Energía Estación del año Invierno Tamaño 2
X12	Consumo de Energía Estación del año Invierno Tamaño 3
<b>Tamaño Vs. Eficiencia</b>	
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>
X1	Consumo de Energía Tamaño 1 Eficiente
X2	Consumo de Energía Tamaño 1 Baja Eficiencia
X3	Consumo de Energía Tamaño 2 Eficiente
X4	Consumo de Energía Tamaño 2 Baja Eficiencia
X5	Consumo de Energía Tamaño 3 Eficiente
X6	Consumo de Energía Tamaño 3 Baja Eficiencia

## Publicaciones en Revistas y Congresos

Energy Policy 37 (2009) 4737–4742



Contents lists available at ScienceDirect

Energy Policy

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/enpol](http://www.elsevier.com/locate/enpol)



### Electric energy saving potential by substitution of domestic refrigerators in Mexico

F.G. Arroyo-Cabañas<sup>a,b</sup>, J.E. Aguillón-Martínez<sup>c</sup>, J.J. Ambríz-García<sup>d</sup>, G. Canizal<sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup> Posgrado en Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, A. P. 20-364, México, Distrito Federal, C.P. 05500, México

<sup>b</sup> Programa de Energía, Universidad Autónoma de la Ciudad de México, San Lorenzo 290, Col. Del Valle, Del. Benito Juárez, México, Distrito Federal, C.P. 03300, México

<sup>c</sup> Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, A. P. 20-364, México, Distrito Federal, C.P. 05500, México

<sup>d</sup> Ingeniería en Recursos Energéticos, Universidad Autónoma Metropolitana, Av. San Rafael Atlixo 186, Col. Vicentina, C.P. 09340, Iztapalapa, México, Distrito Federal, México

#### ARTICLE INFO

Article history:  
Received 10 December 2008  
Accepted 5 June 2009  
Available online 14 July 2009

Keywords:  
Electric energy saving  
Domestic refrigerator  
Governmental program

#### ABSTRACT

We evaluate the potential for electric power saving in Mexico that would follow the substitution of old, low efficiency domestic refrigerators with modern, high efficiency ones. Our results indicate that a total substitution of domestic refrigerators would save 4.7 TWh/year, which represents 33% of the annual total consumption of 14.1 TWh. Assuming an average daily use of 14 h for domestic refrigeration, 900 MW of electricity would be saved. An annual substitution of 20% over 5 years would save approximately 1 TWh a year and almost 180 MW would be released. It is recommended that this program of replacement should be supported by the Federal and State governments, beginning with the States (which have more direct influence), and with the oldest, least efficient refrigerators along the lines followed in programs that introduced fluorescent compact lamps.

© 2009 Elsevier Ltd. All rights reserved.

#### 1. Introduction

In Mexico, refrigeration is responsible for around 29% of the electricity consumption in the homes located in temperate climates and for 14% in those of warm climates where air conditioning is used. This situation produces problems for Mexican families so serious and complex that it is necessary to extensively subsidize the domestic electric rates. From 1997, the Mexican Official Standard (NOM in Spanish) of energy efficiency for domestic refrigerators has been implemented (Norma Oficial Mexicana, 1997, 2002). Recently, the NOM-015-ENER-2002 standard went into effect making currently marketed refrigerators 30% more efficient than the ones sold previously. Nevertheless, the substitution rate is slow and the change of the current total of more than 23 million refrigerators will take many years at the current sales rate of approximately 1.6 million refrigerators a year.

In this study, we have evaluated the composition of the total current domestic refrigerators in the country and states in order, later on, to carry out an estimate of the current consumption of electric power and the evaluation of the electric energy saving potential by means of the substitution of low efficiency old refrigerators with high efficiency modern ones. The achievement of this potential is very distant since the substitution of old for

new models follows a very slow curve, first, because most Mexican households do not have the economic capacity to buy new refrigerators and second, because the technological durability of the refrigerators they already own – some more than 30–40 years old – makes the purchase of new ones unnecessary.

Hence, we propose the organization of a government program that will rapidly substitute old and inefficient refrigerators for new and efficient ones. In support of such a program, information is needed about the relative magnitudes of electricity consumption of the old and the new refrigerators (Arroyo-Cabañas, 2002).

For this purpose, statistical information on the total make-up of domestic refrigerators was gathered from census and population counts, sales, national production and imports and surveys of domestic expenditures. The results for individual States and the nation as a whole appear in Table 1 below. There the major user States are shown. It would be to them that the policy of intensive refrigeration substitution would be first applied. On the basis of the labels of energy efficiency as defined according to the Mexican Official Standard (NOM), it is estimated that refrigerators sold between 1995 and 2000 consumed 30% more electricity than those of the same size sold between 2001 and 2007, while those sold before 1980 consumed 60% more.

#### 2. Aggregate estimate of refrigerators in México

To evaluate the electric energy consumption of domestic refrigeration at both the national and state levels it is fundamental

\* Corresponding author. Tel.: +52 55 54886661x15503; fax: +52 55 5 5755805.  
E-mail addresses: [gcanizal@cablevision.net.mx](mailto:gcanizal@cablevision.net.mx), [gcanizal@energiauam.org.mx](mailto:gcanizal@energiauam.org.mx) (G. Canizal).

4738

F.G. Arroyo-Cabañas et al. / Energy Policy 37 (2009) 4737–4742

**Table 1**  
Existing refrigerators in Mexico; State and national totals.

State	2007	%
Aguascalientes	241,110	1.05
Baja California	736,122	3.21
Baja California sur	122,822	0.53
Campeche	151,708	0.66
Coahuila	651,065	2.84
Colima	147,982	0.64
Chiapas	663,390	2.89
Chihuahua	869,284	3.79
Distrito Federal	2,435,687	10.61
Durango	352,760	1.54
Guanajuato	1,021,254	4.45
Guerrero	610,450	2.66
Hidalgo	428,638	1.87
Jalisco	1,669,255	7.27
México (State of)	3,018,929	13.15
Michoacán	864,763	3.77
Morelos	384,062	1.67
Nayarit	228,276	0.99
Nuevo León	1,107,544	4.82
Oaxaca	583,352	2.54
Puebla	935,517	4.07
Querétaro	323,393	1.41
Quintana Roo	222,532	0.97
San Luis Potosí	489,062	2.13
Sinaloa	667,566	2.91
Sonora	622,772	2.71
Tabasco	396,453	1.73
Tamaulipas	752,051	3.28
Tlaxcala	177,673	0.77
Veracruz	1,426,164	6.21
Yucatán	360,440	1.57
Zacatecas	300,509	1.31
Total	22,962,584	100.00

Source: National Institute of Statistics, Geography and Computing (INEGI) and ANFAD.

to know the number and age of the refrigerators in Mexico, together with the models and their individual consumption rates. With this information, it is possible to estimate the saving in the electrical energy consumption if old, inefficient refrigerators were replaced with modern efficient ones in most of the Mexican homes.

To determine the approximate number of refrigerators existing in the homes of each of the 32 States of the country, information was obtained from population and housing census. Refrigerator sales for 2001–2007, as given by the National Association of Manufacturers of Domestic Devices (ANFAD), were set beside the census data. The results are shown in Table 1 (INEGI 1990 and 2000; ANFAD, 2000–2007).

The key observations are the total number of refrigerators existing in Mexico (23 million), their principal concentrations in the States of Mexico (13.15%) and the Distrito Federal (10.61%), that seven States take up 53% of the whole, that the distribution of refrigerator ownership is not homogeneous, and that on the basis of a total population of about 105 million there is approximately one refrigerator for every five persons.

In Table 2, the number of houses with electricity, and the number of refrigerators per house can be analyzed for each State of the Mexican Republic. In States like Oaxaca, Chiapas and Tlaxcala, the number of refrigerators for housing is almost 0.7, which means that in many Mexican homes this household appliance still is not affordable. By contrast, there is one refrigerator per home in the States to the north of the country (Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Sonora and Baja California). The national average of refrigerator ownership for

**Table 2**  
State and National figures for houses with electricity and refrigerators.

State	2005		EH/P <sup>a</sup>
	Refrigerators	Houses with electricity	
Aguascalientes	216,712	238,639	0.91
Baja California	674,903	660,170	1.02
Baja California sur	111,476	123,466	0.90
Campeche	133,567	171,236	0.78
Coahuila	597,206	605,490	0.99
Colima	135,649	141,454	0.96
Chiapas	551,985	832,257	0.66
Chihuahua	800,067	775,503	1.03
Distrito Federal	2,252,187	2,184,909	1.03
Durango	318,303	338,912	0.94
Guanajuato	904,573	1,008,367	0.90
Guerrero	534,180	641,867	0.83
Hidalgo	370,204	524,071	0.71
Jalisco	1,519,358	1,500,244	1.01
México (State of)	2,689,715	3,038,513	0.89
Michoacán	771,060	870,040	0.89
Morelos	347,504	380,164	0.91
Nayarit	206,824	230,584	0.90
Nuevo León	1,017,498	976,487	1.04
Oaxaca	493,302	728,248	0.68
Puebla	799,594	1,142,154	0.70
Querétaro	285,257	336,696	0.85
Quintana Roo	195,541	240,160	0.81
San Luis Potosí	431,007	518,227	0.83
Sinaloa	610,288	604,998	1.01
Sonora	570,955	580,076	0.98
Tabasco	348,245	452,319	0.77
Tamaulipas	685,349	734,495	0.93
Tlaxcala	150,518	226,225	0.67
Veracruz	1,253,827	1,664,756	0.75
Yucatán	316,525	409,864	0.77
Zacatecas	268,358	313,920	0.85
Total	20,561,737	23,194,511	0.89

<sup>a</sup> EH/P = Ratio of electrified housings/refrigerators.

houses with electricity is 0.89, which means that the ratio of 1 refrigerator per home has yet to be reached. The ideal situation would be having at least one refrigerator in each home (INEGI 1995 and 2005).

This information is a good indicator of the socioeconomic conditions of the Mexican population. The north zone of the country has the major purchasing power and because of its rigorous climate, the greatest need of refrigeration for the conservation of food and personal comfort. In this region a major quantity of electrical energy is consumed, which has influenced the establishment of electrical preferential tariffs.

### 3. Aggregates of domestic refrigerators by age

Another important parameter to consider in the current electricity consumption of domestic refrigerators is their age, since recent models present major energy efficiencies. Starting with information about the number of refrigerators per State from census data on Population and Housing for the year 2000 (INEGI) and the proportionate data about sales from ANFAD for the corresponding period, the number of existing refrigerators was calculated for each State. Fifty-eight percent of the aggregate of domestic refrigerators is 1–10 years old, 29% from 11 to 20 years old and 13% more than 20 years. It is necessary to emphasize that in previous works refrigerators of 30 and 40 years of age have been noted still operating in Mexican homes. Table 3 suggests that while 10 years might usually be the effective life of a refrigerator the majority of the families maintain them appropriately and the

**Table 3**  
Number of refrigerators by age range in Mexico.

2007				
State	1–10 years	11–20 years	more than 20 years	Total
Aguascalientes	137,433	67,511	36,167	241,110
Baja California	419,589	206,114	110,418	736,122
Baja California sur	70,009	34,390	18,423	122,822
Campeche	86,474	42,478	22,756	151,708
Coahuila	371,107	182,298	97,660	651,065
Colima	84,350	41,435	22,197	147,982
Chiapas	378,132	185,749	99,509	663,390
Chihuahua	495,492	243,400	130,393	869,284
Distrito Federal	1,388,341	681,992	365,353	2,435,687
Durango	201,073	98,773	52,914	352,760
Guanajuato	582,115	285,951	153,188	1,021,254
Guerrero	347,957	170,926	91,568	610,450
Hidalgo	244,323	120,019	64,296	428,638
Jalisco	951,476	467,391	250,388	1,669,255
México (State of)	1,720,789	845,300	452,839	3,018,929
Michoacán	492,915	242,134	129,714	864,763
Morelos	218,915	107,537	57,609	384,062
Nayarit	130,117	63,917	34,241	228,276
Nuevo León	631,300	310,112	166,132	1,107,544
Oaxaca	332,511	163,339	87,503	583,352
Puebla	533,245	261,945	140,328	935,517
Querétaro	184,334	90,550	48,509	323,393
Quintana Roo	126,843	62,309	33,380	222,532
San Luis Potosí	278,765	136,937	73,359	489,062
Sinaloa	380,513	186,918	100,135	667,566
Sonora	354,980	174,376	93,416	622,772
Tabasco	225,978	111,007	59,468	396,453
Tamaulipas	428,669	210,574	112,808	752,051
Tlaxcala	101,274	49,749	26,651	177,673
Veracruz	812,914	399,326	213,925	1,426,164
Yucatán	205,451	100,923	54,066	360,440
Zacatecas	171,290	84,143	45,076	300,509
National Total	13,088,673	6,429,524	3,444,388	22,962,584

life expectancy reaches 20 years. Furthermore, a large sector of the population simply cannot afford to buy new refrigerators, which accounts for the fact that only 1.5% of the aggregate of domestic refrigerators are purchased each year.

#### 4. Production and sales of domestic refrigerators in Mexico

The production and sales of refrigerators in Mexico have increased substantially due to the increment in the number of families and their need to preserve food for the longest possible time. According to the National Association of Manufacturers of Domestic Devices (ANFAD), refrigerator sales for 2007 were more than 1 million 600 thousand, an increase of 4% from the previous year (Fig. 1).

The producers and distributors of domestic refrigerators in México are: Industries Acros-Whirlpool (previously Supermatic), Mabe México, Daewoo, LG and Samsung. The company Mabe was the biggest producer of refrigerators in 2007 taking 40% of the total sales, followed by Acros with almost 30%. At the beginning of 2001, the imports of domestic refrigerators represented 24% of total sales, with Daewoo taking 6% of sales, LG and Samsung 17%, with the remaining 1% of imported sales shared by Admiral, Magic Chef and Frigidaire. The remaining 76% of sales came from national refrigerator production (Fig. 2). The increase in market share by imports followed the opening of the market to Japan and Korea and the elimination of tariffs on the products of those countries.



Fig. 1. Annual sales of domestic refrigerators. (Source: ANFAD).

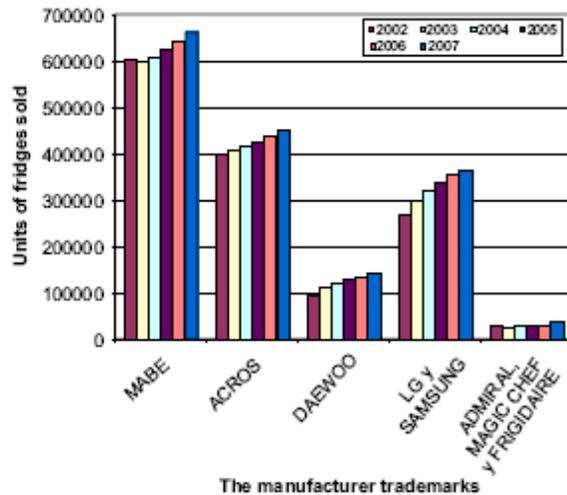


Fig. 2. Annual sales of refrigerators for manufacturer.

As observed in Fig. 2, the national production of refrigerators has been decreasing every year, from 75.8% in 2001 to 67.3% by the end of 2007, while in the same period the Japanese trademarks LG and Samsung increased their sales from 24% to 32%. In the light of this trend, with the strong competition it has produced between different trademarks, it can be hoped that the efficiency standards of domestically produced refrigerators will increase as manufacturers offer consumers products that meet the Mexican Official Standards or the RDE (*The Electrical Energy Saving Trust*) label.

#### 5. Models of domestic refrigerators in the Mexican market

The generic name of *refrigerator*, whether produced inside or outside Mexico, refers to the refrigerator-freezer with manual, semiautomatic or automatic thaw systems, which are sold by the following technical denominations: *refrigerator for domestic use*, *refrigerator no-frast* and *freezer*.

The refrigerators that Mabe Mexico manufacture are sold with the trademarks Mabe, Kelvinator, GE, IEM, Hotpoint and Kenmore;

**Table 4**  
Models of domestic refrigerators that sell most in Mexico, percentage of annual sales and annual average consumption of electricity.

Capacity (ft <sup>3</sup> )	% Sales	Annual average consumption
		kWh/year
> 8	7.9	273
8	7.6	318
9	10.2	430
10	8	432
11	11.4	438
12	7.4	545
13	11.1	560
14	11.7	577
15	5.1	609
17	4.8	618
18	4.5	642
20	3.8	668
21	3.9	841
25	2.6	882

Source: Profeco (1999).

those made by Industries Acros-Whirlpool are Philips, Blue Point, Singer, Tropigas and Supematic. The Korean company Daewoo uses the trademark of the same name. The imported refrigerators use the commercial trademarks LG and Samsung, and those imported from the United States, a small market share, carry the trademarks Maytag, Admiral, Magic Chef and Frigidaire.

The characteristics of the national and imported refrigerator are similar and they are described as refrigerators of 1 and 2 doors, vertical, with thaw system that can be manual, semiautomatic or automatic, gas free of chlorofluorocarbons and feeding current of  $115 \approx 127 \text{ V} \pm 10\%$  with a frequency of 60 Hz.

The refrigerators are also categorized according to volume: liters, cubic decimeters (dm<sup>3</sup>) and cubic feet (ft<sup>3</sup>). The gross capacity of a refrigerator is obtained by measuring the interior of the refrigerator, including the area of the freezer and the areas of the compartments of the doors. The actual capacity is obtained by discounting the borders, internal protuberances and internal relief. The nominal capacity is measured in accordance with the Mexican Official Standards (NOM), which is used for the calculation of energy efficiency. The measure unit is dm<sup>3</sup> and refers to the quantity of water that fits inside the cabinet of the refrigerator (cooler cavity and freezer). The commercial capacity refers to the conversion of liters or dm<sup>3</sup> to ft<sup>3</sup>. It is the commercial capacity that is most commonly used in the trade.

In accordance with the reports of the Consumer's Federal Attorney's Office (PROFECO), the relationship of certified products for the Association of Normalization and Certification (ANCI) and the survey entrance expense of the homes in Mexico, the models that are sold most in Mexico are those with capacities between 9 and 14 cubic feet. To establish the annual consumption of electricity of the refrigerators from 2001 to 2007 the Mexican Official Standards was taken as the average for all refrigerators that were sold of whatever capacity (Table 4), where the annual percentage sales from the sales reports of several commercial retailers are also included.

It is observed that the models of refrigerators most used are 9, 11, 13 or 14 cubic feet capacity. The least popular models are those with a capacity of more than 18 cubic feet.

A matter of importance discovered during fieldwork is that neither the sellers of refrigerators in department stores nor consumers were informed that the current refrigerators save approximately 30% more electricity than the previous models. What mattered most to the consumer was whether the refrigerator would fit its desired location in the home.

## 6. Aggregate electric energy consumption of domestic refrigerators in Mexico

The Mexican Official Standard NOM-015-ENER-2002 has governed all the domestic refrigerators sold in Mexico since 2001, securing a 30% reduction in the use of electrical energy compared with refrigerators over 10 years old in good condition.

An estimate of the current consumption of electricity by these older refrigerators by ages and sizes is required, as well as for the average consumption for models from 2001 to 2007, as shown in Table 4. Estimates of the energy consumption of the older refrigerators were based on the assumptions of previous research, as were those for the models of refrigerators sold between 1995 and 2000 when a level of consumption 30% higher than the 2007 models is assigned to those estimates. The results were that consumption was 40% higher between 1991 and 1994, 50% higher between 1981 and 1990 and 60% for the pre-1980 refrigerators.

On the basis of these assessments it is possible to estimate the annual consumption of electrical power by domestic refrigerators of high low and high efficiency for both the States of Mexico and the nation as a whole (Table 5).

It can be observed that domestic national refrigeration accounts for 14.1 TWh/year of electrical energy use. This quantity is more than 18 times the annual consumption of electrical energy in the homes of the States of Tlaxcala and Durango, where because of greater than average personal/family income people can afford to buy new and efficient refrigerators.

## 7. Electric energy saving potential by replacement with efficient refrigerators

If a policy for the total replacement of refrigerators made before 2001 was implemented, and supposing the same number of units, the total consumption of electric power for concept of domestic refrigeration would decrease to 4.7 TWh/year, that is to say, 33% less than the current one (Table 6). On the basis of a daily use of 14 h, this would save 900 MW of electricity.

Clearly, a more realistic program of assistance to the country and benefit to family incomes would be to substitute refrigerators over a longer period (Rüdenauer and Gensch, 2006). For example, if a 5 year period was considered, the electric energy saving potential would be a little less than 1 TWh/year and a capacity of 180 MW.

At present, there is a program put forward in Mexico by the Energy Ministry for the "Substitution of Electro-domestic equipment for Energy Saving", whereupon the substitution of refrigerators with 10 or more years of age is sought after, by new energy saving machines, through direct support and financing, consisting in "vouchers" that must be destined to cover the Price of the appliance and transportation costs, collecting and destruction associated with the equipment substitution, whereas the financing can be based on a credit with preferential interest rates, to be paid in a reasonable term and collected through the electric energy bill.

The plan is focused to the whole of the Mexico Republic, even though the results of the present study show that it should be initiated in the states of most impact in the national balance and with warmer climate, like Chihuahua, Tamaulipas or Jalisco; later on it should continue to cover those states of minor participation.

It seems fit to point out, that programs of this type have been developed for the introduction of compact fluorescent lamps, roof insulation of houses in zones of extreme heat, the substitution of old air conditioning units for new and efficient ones, or the exchange of vehicles with better efficiency for passenger transport. In the last two examples, the program

**Table 5**  
Electric energy consumption of all domestic refrigerators in Mexico; State and National Totals.

State	Electrical energy consumption (GWh/year)					Total consumption
	Period of sale					
	2001–2007	1995–2000	1991–1994	1981–1990	1980 and earlier	
Aguascalientes	41.1	46.4	13.8	30.2	17.6	149.1
Baja California	102.0	155.1	46.0	100.7	58.7	462.4
Baja California Sur	18.7	22.4	10.0	16.2	9.4	76.7
Campeche	31.1	32.3	1.8	17.1	10.0	92.1
Coahuila	91.3	145.2	31.8	88.7	51.7	408.5
Colima	21.2	27.7	12.3	20.0	11.7	92.8
Chiapas	192.1	35.8	73.3	54.2	31.6	387.0
Chihuahua	118.0	196.5	42.5	119.8	69.8	546.6
Distrito Federal	317.5	595.9	82.8	340.4	198.4	1534.9
Durango	59.5	46.1	42.9	44.4	25.9	218.7
Guanajuato	202.0	168.4	66.8	117.6	68.6	623.3
Guerrero	133.8	99.4	31.5	65.6	38.2	368.5
Hidalgo	101.6	56.5	30.1	43.3	25.2	256.6
Jalisco	256.2	356.6	80.9	219.2	127.8	1040.7
México (State of)	565.8	601.1	115.5	359.1	209.3	1850.7
Michoacán	164.8	148.4	55.3	101.9	59.4	529.7
Morelos	63.2	82.9	14.6	48.9	28.5	238.1
Nayarit	37.1	45.1	13.2	29.2	17.0	141.7
Nuevo León	152.0	258.4	44.8	152.0	88.6	695.8
Oaxaca	158.2	67.2	36.0	51.6	30.1	343.1
Puebla	235.8	118.5	60.1	89.3	52.0	555.6
Querétaro	64.5	62.2	11.8	37.1	21.6	197.1
Quintana Roo	44.0	43.9	7.3	25.6	14.9	135.7
San Luis Potosí	100.6	77.4	32.4	54.9	32.0	297.3
Sinaloa	99.0	146.9	30.5	88.9	51.8	417.2
Sonora	88.0	142.3	26.4	84.6	49.3	390.5
Tabasco	83.5	55.6	32.1	43.8	25.5	240.5
Tamaulipas	112.9	142.9	56.3	99.7	58.1	469.9
Tlaxcala	46.6	19.7	12.9	16.3	9.5	105.0
Veracruz	300.5	257.3	57.2	157.5	91.8	864.3
Yucatán	75.1	58.4	21.8	40.1	23.4	218.8
Zacatecas	56.2	49.1	22.4	35.8	20.9	184.4
				National level		14,133.5

**Table 6**  
Estimate of the electric energy saving potential by substitution of refrigerators in Mexico.

Age range refrigerators	Current consumption		Possible consumption		Saving	
	GWh/year	%	GWh/year	%	GWh/year	%
2001–2007	4134	29.2	4134	43.8	–	–
1995–2000	4362	30.9	3053	32.3	1,308	30
1994 and previous	5638	39.9	2255	23.9	3383	60
Total	14,134	100	9442	100	4691	33

compels the forces the applicant to surrender his old equipment for destruction.

In the year 2002, a “Program for the Financing for electric energy saving” (PFAEE) in which the objective was to back up the Federal Government in its program for Electric energy saving and efficient use, through the constitution of a mechanism that allows the Access to financing in preferential conditions to users of domestic usage rates and Workers of the Federal Electricity Commission (CFE), helping towards the environmental conservation by means of a decrease in the Greenhouse gases effect. In the said program, the creation of Centers for gathering and Destruction was contemplated in which the handling and destruction of the out of use refrigerators was performed.

These centers had the infrastructure for the control of the handling, gas extraction, confinement and destruction of the

refrigerators. They fulfilled the reception activities, recovery of refrigerant gases, temporary storage and the shipment of gas and oil to their final disposal. They also issued official documents for the inhabilitation of the appliances, as well as all recyclable materials such as copper aluminum or other materials for processing accordingly.

The aforementioned program was operational until 2006 and involved over 100 Centers, of which it is uncertain if any of them are still active or whether they have the infrastructure to be operational. For that reason it is important to point out that said program will have to be restarted in an important fashion, but involving now directly the appliance manufacturers so that they have the installations for the handling of the waste generated by the substitution of domestic refrigeration equipment, with the understanding that they will count with official fiscal support, on behalf of the government to incentivize these type of practices that greatly benefit the country and the whole world (FIDE-World Bank, 2008).

## 8. Conclusions

We have estimated the distribution of all domestic refrigerators for each Mexican States. Taking the Mexican Official Standard (NOM-015-ENER-2002) as a base for defining current consumption, electric energy consumption by national refrigeration in the country was evaluated. This has reached the significant quantity of 14.1 TWh/year.

We also calculated the energy that might be saved by replacing old refrigerators of low efficiency with modern ones of high efficiency, suggesting this could reach a saving of 4.7 TWh/year, this being equivalent to 33% of the current consumption of electric power and representing a release of installed capacity of the order of 900 MW.

We have proposed that to access these potential gains a governmental program of support for the purchase of advanced technology domestic refrigeration is essential.

#### Acknowledgments

The authors would like to thank the personnel of the Controlled Environment Laboratory of the Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa for assistance in experimental determinations, and Engineer Gerardo Oseguera and Dr. John Graham of UACM for their assistance in translating this paper.

#### References

- ANFAD, 2000–2007. Anuarios Estadísticos de producción y ventas de aparatos electrodomésticos.
- Arroyo-Cabañas, F.G., 2002. Estudio de la eficiencia energética de refrigeradores domésticos dentro de un laboratorio de ambiente controlado. Tesis de Maestría. UNAM, DEPH.
- FIDE-World Bank, 2008. Evaluación ambiental del programa de sustitución de refrigeradores y aires acondicionados domésticos para el ahorro de energía eléctrica.
- INEGI, 1990 and 2000. Censos Generales de Población y Vivienda.
- INEGI, 1995 and 2005. Censos de Población y Vivienda.
- Norma Oficial Mexicana, NOM-015-ENER-1997. Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos—Límite, métodos de prueba y etiquetado.
- Norma Oficial Mexicana, NOM-015-ENER-2002. Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos—Límite, métodos de prueba y etiquetado. Diario Oficial, México D.F., 15 de Enero del 2003.
- Profeco, 1999. Calidad de Refrigeradores, Revista del Consumidor No. 279.
- Rüdenauer, I., Gensch, C.O., 2006. Accelerated replacement of refrigerators and freezers—does it make sense? Fourth International Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting Conference 2006, Full Proceedings, London.



## CYTEF-2009

V Congreso Ibérico y III Congreso Iberoamericano de Ciencias y Técnicas  
del Frío

Castellón, España – 23 a 25 de Septiembre, 2009

[www.cytef2009.uji.es](http://www.cytef2009.uji.es)

[cytef2009@uji.es](mailto:cytef2009@uji.es)



Sr. D. Fernando G. Arroyo:

Tengo el placer de comunicarle que la ponencia titulada:

### **Evaluación experimental y potencial de ahorro de energía eléctrica del parque de refrigeradores domésticos en México.**

Cuyos autores son: Fernando G. Arroyo, Javier E. Aguillón, Gerardo Canizal y Juan José Ambríz.

Ha sido aceptada por el Comité Científico-Técnico para ser presentada en el V Congreso Ibérico y III Congreso Iberoamericano de Ciencias y Técnicas del Frío – CYTEF-2009, que se celebrará en la Universidad Jaume I, Castellón, España del 23 al 25 de Septiembre de 2009.

Castellón, 27 de marzo de 2009.

Fdo: Dr. Rodrigo Llopis Doménech  
Secretario del Comité Organizador.  
Secretario del Comité Científico-Técnico