

01187

N=2

2Ej.

# **Tendencias y Perspectivas de la Energía Residencial en México**

**Análisis comparativo con las experiencias  
de conservación y eficiencia de los países de la OCDE**

**Tesis que presenta**

**Claudia Sheinbaum Pardo**

**para obtener el grado de Doctora en Ingeniería  
(Ambiental)**

**División de Estudios de Posgrado  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional Autónoma de México**

Noviembre 1994

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**¿sustentabilidad?, preguntemos a los indígenas chiapanecos.**

## agradecimientos

Quiero agradecer a la Facultad de Ciencias de la UNAM por la beca que permitió realizar mi trabajo de investigación doctoral en el Lawrence Berkeley Laboratory.

Este trabajo no hubiese sido posible sin la ayuda de muchísimas personas:

Quiero agradecer especialmente a Lee Schipper por su apoyo. Gracias por permitirme compartir estos años de trabajo y por haberme contagiado de su entusiasmo energético y convencido aun más de la necesidad de lo que hoy llamamos desarrollo sustentable. Agradezco a Manuel Martínez por sus comentarios, paciencia, y ánimo, que permitió la elaboración y sobre todo finalización de este esfuerzo. Gracias a Luís Rodríguez por todas las correcciones y sobre todo por su soporte para que esto pudiera haber sido posible. Gracias a Juan José Ambriz, Hernando Romero, Sergio Waller, Blanca Jiménez, Gustavo Rodríguez y Jose Luís Fernández por su revisión para enriquecer este trabajo. Gracias particulares a Jose Luís Fernández Zayas por su confianza y paciencia en la finalización de esta tesis.

Gracias a diversos maestros mi formación como ingeniera energética ha sido posible. Gracias especiales a Marco Martínez, Gauttam Dutt y a Jacinto Viqueira de quienes recibí gran parte del conocimiento que hoy tengo, pero sobre todo por promover el entusiasmo y el estudio crítico del uso de la energía en México.

Gracias a Annie y Carlos por tantas cosas que nunca acabaría de decir. A Madeleine por su apoyo y por estar siempre preocupada. A Moisés por su corrección de estilo y ayuda. A Adriana y Julio por ser hermanos tan buena onda. Gracias a la Moñe por el entusiasmo y solidaridad. Gracias a Margarita por su tiempo y por su buen humor.

Gracias a Mariana y Rodrigo, por sus risas, enojos, tiempo, pláticas, cariño, sin lo cual, nada valdría la pena.

Gracias muy especiales a Carlos por el tiempo, la paciencia, el respaldo, el apoyo, la confianza, el entusiasmo, el aliento, el ánimo, la decisión, por estos años tan padres que hemos pasado juntos y también, por contagiarme cada día de ese deseo y esperanza por el cambio.

## Resumen

Este trabajo es un estudio comparativo del uso de la energía residencial en México y nueve países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE)<sup>1</sup>. Su principal objetivo es conocer, mediante la metodología de análisis por usos finales, las causas de las tendencias en el uso de la energía residencial en dichos países, sus efectos ambientales, el potencial técnico de conservación y las posibles políticas de ahorro y eficiencia energéticas que promuevan un desarrollo sustentable.

El trabajo se divide en dos partes: La primera presenta el análisis de las tendencias observadas durante el período de 1973 a 1990 así como las perspectivas del uso de la energía residencial en Estados Unidos, Japón, la ex Alemania Occidental, Francia, Italia, Gran Bretaña, Suecia, Dinamarca y Noruega. La segunda expone las tendencias del uso de la energía residencial en México de 1980 a 1990 y analiza y evalúa las posibles aplicaciones de la experiencia de los países de la OCDE al caso de nuestro país.

En los países de la OCDE, el sector residencial representa en promedio el 20% del consumo de energía final. Producto del llamado *embargo petrolero* de 1973, este sector fue blanco de gran cantidad de políticas de conservación y eficiencia, a tal punto que entre 1973 y 1983 contribuyó en un millón de barriles de petróleo diarios al ahorro de energía en siete países de la OCDE (Schipper & Ketoff 1985). Esta reducción se debió al incremento de la eficiencia energética de todos los usos finales, así como a la sustitución del petróleo por la electricidad y el calor distrital.

La disminución en la intensidad energética para calefacción, principal uso final de la energía en la mayoría de los países de la OCDE, fue la causa principal de la caída del uso de la energía del sector. A partir de 1973 la mayoría de los países de la OCDE introdujeron regulaciones térmicas para las nuevas construcciones, lo que mejoró el aislamiento de las paredes y techos de las viviendas, promovió el uso de la energía solar pasiva (orientación de las viviendas) y la eficiencia de la tecnología para calefacción (ya sea central o por cuarto). Asimismo, los altos precios de la energía provocaron la reducción de las temperaturas interiores.

A diferencia de la calefacción, la utilización de la energía para electrodomésticos tuvo el mayor crecimiento en los últimos 20 años en todos los países de la OCDE. A pesar de que en todos los casos el consumo unitario de energía de cada electrodoméstico

---

<sup>1</sup>A partir de abril de 1994, México es parte de la OCDE. Este trabajo fue concebido antes de que este hecho ocurriera. Esta nueva situación hace que este estudio comparativo adquiera una relevancia aún mayor.

disminuyó, el incremento en el volumen y la diversificación de las características de la mayoría de los electrodomésticos opacó los cambios en la eficiencia.

Los cambios en el precio de la energía, así como la aplicación de los programas gubernamentales de estándares de eficiencia contribuyeron a la disminución en el uso de la energía. Sin embargo, el colapso de los precios de la energía en 1985 desaceleró esta tendencia. A futuro se espera que aún cuando los estándares en las nuevas construcciones y electrodomésticos seguirán siendo un motor para la conservación energética, el bajo precio de la energía disminuirá las tasas de cambio que hubo entre 1973 y 1985.

En México, el sector residencial representa también cerca del 20% de la energía final. Sin embargo, existen importantes diferencias en el uso de energía entre México y los países de la OCDE. Destacan las siguientes: (1) Mientras que en los países de la OCDE el uso de energía per cápita residencial disminuyó, en México aumentó a una tasa cercana al 2% anual entre 1973 y 1990. (2) En los países de la OCDE el uso final de mayor importancia es la calefacción mientras que en México la cocción representa alrededor del 60% del consumo de energía final. (3) En México la leña constituye alrededor del 50% del uso de energía final del sector, mientras que para los países de la OCDE ésta es una forma de energía secundaria. (4) La iluminación y refrigeración representan cerca del 60% del consumo de electricidad residencial en México, mientras que en países de la OCDE (sin tomar en cuenta calefacción, calentamiento de agua y cocción), estos representaban entre el 30 y 40% del consumo eléctrico. (5) La saturación de electrodomésticos en México es mucho menor que la de los países de la OCDE. Por ejemplo, se estima que la saturación de los refrigeradores en México es de cerca del 60% en tanto que estos aparatos tienen una saturación del 100% en los países de la OCDE. (6) En México existen todavía familias que no cuentan con electricidad (de 5 a 10%) mientras que desde antes de la década de los setenta, el 100% de las viviendas en los países de la OCDE tienen acceso a ese servicio.

El reconocimiento de estas diferencias es ineludible en el diseño de políticas de conservación de energía en México. La influencia del sector rural y por lo tanto de la leña, es una situación particular de las naciones en desarrollo y la OCDE tienen poca experiencia en este terreno. Sin embargo, en relación al uso de energía en el sector urbano y a las diversas orientaciones para la aplicación de medidas de conservación de energía, la experiencia de la OCDE es esencial. Políticas energéticas implementadas en países de la OCDE, como los programas de información, los estándares de regulación y eficiencia para nuevos edificios y electrodomésticos, la administración de la demanda, la promoción gubernamental para la investigación y el desarrollo así como las experiencias de implantación de políticas del precio de la energía serían de gran utilidad para el caso mexicano.

## Abstract

This work is a comparative study of residential energy use between Mexico and nine countries of the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD)<sup>1</sup>. The main objective of this work is to know the causes of the residential energy use trends, its environmental effects, technical saving potential and the efficiency policies needed to promote sustainable development in these countries. The *end use methodology* is applied.

This work is divided in two main parts. The first one presents the analysis of trends between 1973 and 1990, among nine OECD countries: United States, Japan, former West Germany, Italy, France, Great Britain, Sweden, Denmark and Norway. The second part explains the Mexican residential energy use trends between 1980 and 1990. The possible applications of OECD residential energy policies in Mexico are also analyzed in the second part.

In OECD countries the residential sector represents around 20% of the final energy use. Due to the 1973 oil embargo, the residential sector was a target of energy conservation policies. Due to these policies, the residential sector contributed in one million of barrels per day to energy savings of seven OECD countries between 1973 and 1983 (Schipper & Ketoff 1985). This reduction was due to an increase efficiency of all end uses, and to the fuel substitution from oil to both electricity and district heating.

The decrease in space heating energy intensity --main end use in OECD countries-- , was the principal cause of energy use reduction in the residential sector. Since 1973, most of the OECD countries introduced energy standards to new buildings. The standards, as well as high energy prices, dive down space heating intensity by improving thermal integrity, encouraging the use of passive solar energy, promoting energy efficiency for space heating equipment and reducing indoor temperatures.

On the other hand, electricity use for appliances had the biggest increase of all end uses. Appliance efficiency improved in all OECD countries, however, structural changes such as increase in size and more characteristics of the new appliances obscured the increments in appliance efficiency.

High energy prices and energy standards contributed to decrease the residential energy intensities. However, collapse of energy prices since 1985, slow down the decrease

---

<sup>1</sup>Since April of 1994, Mexico belongs to the OECD, This work was developed before that date. However this new situation makes even more important the relevance of this work.

in energy intensities. Future trends are not clear. Appliance standards as well as penetration of better insulation in homes will continue to push for the decrease in energy intensities. However, in comparison with 1973-1985 period, the low energy prices of the nineties might cause a decrease in speed of changes.

In Mexico, residential sector represents around 20% of final energy use, as in most OECD countries. However, there are important differences: (1) Between 1973 and 1990, energy use per capita decreased in most OECD countries, in Mexico it increased at an annual rate of growth of 2%; (2) The most important end use in OECD countries is space heating, while in Mexico is cooking; (3) Fuel wood represents around 50% of residential final energy use in Mexico while in OECD countries this energy source is used as a secondary fuel for space heating; (4) Lighting and refrigeration represented in 1990 more than 60% of residential electricity use in Mexico and in OECD countries it represented less than 40% in all cases; (5) Appliances' saturation in Mexico is lower than in OECD countries (60% versus 100% in case of refrigerators); and (6) In 1990, nearly 10% of the households in Mexico did not have access to electricity. In most of the OECD countries 100% of the households have electricity since the beginning of the sixties.

It is important to recognize that the countries' differences in the patterns of energy use are substantial in the definition of energy policies. In particular the influence of the rural sector and the use of fuel wood in Mexico is a problem that OECD countries do not deal with. Regarding urban energy use, as well as the analysis of different orientations of the implementation of energy policies, the experiences of OECD countries are very important for Mexico. That is the case of policies such as information campaigns, standards, demand side-management, governmental impulse to research and development, and energy price and taxes.

# Índice General

<b>Introducción</b> .....	1
1. ¿ Por qué OCDE y México?.....	1
1.1 Contexto internacional: precios y políticas de eficiencia y conservación .....	2
1.2 Nuevo paradigma: desarrollo sustentable.....	5
1.3 La metodología por usos finales .....	6
1.4 Energía en el sector residencial: OCDE y México. ....	6
<b>Capítulo 1: Metodología</b> .....	10
1.1 Metodología por usos finales o de "abajo hacia arriba" .....	11
1.2 Índices de cambio.....	13
1.3 Índices de cambio en las emisiones .....	16
<b>Parte I: OCDE</b>	
<b>Capítulo 2: Tendencias históricas del uso de la energía residencial en los países de la OCDE.....</b>	<b>18</b>
2.1 Factores económicos, estructurales y de población .....	18
2.1.1 Factores económicos .....	19
2.1.1.1 Ingreso.....	19
2.1.1.2 Precio .....	20
2.1.2 Factores de Población.....	25
2.1.3 Factores estructurales .....	26
2.1.3.3 Aumento en la saturación de calefacción central .....	27
2.1.3.4 Tiempo de estancia en el hogar.....	28
2.1.3.5 Aumento en el número de electrodomésticos .....	28
2.2 Cambios agregados del consumo de energía en la OCDE.....	30
2.3 Usos finales.....	32
2.3.1. Calefacción.....	32
2.3.1.1 Índices de cambio: calefacción.....	37
2.3.2 Calentamiento de agua y cocción .....	39
2.3.2.1 Calentamiento de agua .....	39
2.3.2.2 Cocción .....	42
2.3.2.3 Índices de cambio: calentamiento de agua y cocción .....	44
2.3.3 Iluminación.....	45
2.3.3.1. Índices de cambio: iluminación .....	47
2.3.4 Electrodomésticos .....	47
2.3.4.1 Índices de cambio: electrodomésticos.....	51
2.4 Índices de cambio: Análisis agregado .....	52
2.4.4 Estructurales.....	52
2.4.4.1 Estructura e Ingreso .....	53
2.4.1 Intensidad.....	55
2.4.1.1 Intensidad y precio .....	55

<b>Capítulo 3: Análisis econométrico del consumo de energía residencial en los países de la OCDE.....</b>	<b>60</b>
3.1 Especificación del modelo econométrico .....	62
3.2 Resultados .....	63
<b>Capítulo 4: Emisiones de los principales contaminantes y gases invernadero debidas al uso de energía residencial en los países de la OCDE.....</b>	<b>68</b>
4.1 Emisiones de CO, NOx y SO2.....	70
4.2 Emisiones de CO2.....	76
4.2.1 Cambio en la configuración por fuentes de la energía final.....	77
4.2.2 Emisiones de CO2 por usos finales .....	79
4.2.3 Índices de cambio .....	80
<b>Capítulo 5: Potencial de ahorro y políticas de eficiencia y conservación en los países de la OCDE.....</b>	<b>83</b>
5.1 Algunos ejemplos del potencial técnico y económico .....	84
5.1.1 Calefacción.....	84
5.1.2 Calentamiento de agua y cocción .....	87
5.1.3 Iluminación.....	89
5.1.4 Electrodomésticos .....	89
5.2 Políticas de eficiencia y conservación.....	92
5.2.1 Programas de Información .....	93
5.2.2 Estándares de Regulación y Eficiencia.....	94
5.2.3 Administración de la demanda.....	95
5.2.4 Precios y políticas fiscales.....	97
5.2.5 Otros incentivos económicos .....	98
5.2.6 Investigación y desarrollo .....	98
5.2.7 Políticas no energéticas.....	99
5.3 Barreras para el mejoramiento de la eficiencia energética .....	100
5.3.1 Falta de Información.....	100
5.3.2 Costos.....	101
5.3.3 Precios de la energía .....	101
5.3.4 Inercia institucional.....	102
5.3.4 Estilos de vida .....	102
5.4 Políticas relacionadas con los efectos en el ambiente.....	103
5.4.1 Regulaciones y estándares en las emisiones .....	105
5.4.2 Impuestos.....	105
5.4.3 Instrumentos de mercado .....	106

## **Parte II: MÉXICO**

<b>Capítulo 6: Tendencias históricas del uso de la energía residencial en México .....</b>	<b>107</b>
6.1 Referencias originales.....	107
6.2 Factores económicos, estructurales y de población. ....	109
6.2.1 Factores económicos .....	109
6.2.1.1 Ingreso.....	109
6.2.1.2. Precio .....	111
6.2.3 Factores de población y estructurales.....	114
6.2.3.1 Tamaño del hogar .....	114
6.2.3.2 Asimetrías entre el subsector urbano y rural.....	115
6.2.3.3 Tamaño de las viviendas.....	116
6.2.3.4 Estancia en el hogar .....	117
6.2.3.5 Agua y electrificación.....	118
6.2.3.6 Estructura del uso de la electricidad .....	118
6.2.3.7 Saturación de los electrodomésticos .....	120
6.3 Cambios agregados del consumo de energía residencial en México .....	123
6.4 Usos finales.....	126
6.4.1 Cocción.....	126
6.4.2 Calentamiento de agua.....	131
6.4.3. Iluminación.....	134
6.4.4. Electrodomésticos .....	135
6.4.5 Otros.....	137
6.5 Índices de cambio .....	138
6.6 Análisis econométrico .....	139
6.6.1 Resultados.....	140
<b>Capítulo 7: Emisiones de los principales contaminantes y gases invernadero debidas al uso de la energía residencial en México .....</b>	<b>142</b>
<b>Capítulo 8: Potencial de ahorro y políticas de conservación y eficiencia energética en México.....</b>	<b>147</b>
8.1 Algunos ejemplos del potencial técnico de conservación.....	148
8.1.1 Cocción con gas .....	149
8.1.2 Cocción con leña .....	150
8.1.3 Calentamiento de agua con gas.....	150
8.1.3 Calentamiento de agua con leña .....	151
8.1.4 Iluminación.....	151
8.1.5 Refrigeración, televisión y aire acondicionado.....	152
8.2 Políticas de conservación y eficiencia.....	153
8.2.1 Cocción con leña: estufas mejoradas y sustitución de combustibles.....	153
8.2.1.1 Sustitución de leña por gas LP .....	153
8.2.2.2 Estufas mejoradas .....	153
8.2.2 Programas de Información.....	153

8.2.3	Estándares de Regulación y Eficiencia.....	155
8.2.3.1	Electrodomésticos.....	155
8.2.3.2	Nuevas construcciones.....	155
8.2.4	Administración de la demanda.....	156
8.2.5	Precios y políticas fiscales.....	157
8.2.6	Investigación y desarrollo.....	159
8.3	Barreras.....	160
8.3.1	Falta de información.....	161
8.3.1.1	Información a los usuarios.....	161
8.3.1.2	Base de datos nacional sobre los usos finales de la energía.....	161
8.3.2	Inercia institucional.....	161
8.3.2.1	La lógica de la oferta.....	162
8.3.3	Los fabricantes de enseres domésticos.....	162
8.3.4	Seguimiento y evaluación de proyectos.....	163
8.3.5	Desconfianza del usuario.....	163
8.3.6	Precio de la energía y distribución de la riqueza.....	163
<b>Capítulo 9:</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>165</b>
9.1	OCDE.....	166
9.2	México.....	171
9.3	Potencial técnico de ahorro de energía en el sector residencial.....	177
9.4	Políticas energéticas y barreras para la conservación y eficiencia en el sector residencial mexicano.....	177
9.4.1	Sustitución de leña por gas LP en el campo mexicano y estufas mejoradas.....	178
9.4.2	Programas de Información.....	178
9.4.3	Estándares de Regulación y Eficiencia.....	179
9.4.4	Nuevas construcciones.....	179
9.4.5	Administración de la demanda.....	180
9.4.6	Investigación y desarrollo.....	181
9.4.7	Precios y políticas fiscales.....	181
<b>Referencias bibliográficas.....</b>		<b>183</b>
<b>Apéndice I: Fuentes de los datos para los países de la OCDE.....</b>		<b>196</b>
<b>Apéndice II: Procedimiento de Autorregresión.....</b>		<b>199</b>
<b>Apéndice III: Precios de la energía y salarios en México.....</b>		<b>201</b>

# Índice de Tablas

## Parte I: OCDE

Tabla 2.1: Población, Viviendas y Personas por vivienda: Tasa anual de crecimiento: 1973-1990.....	27
Tabla 2.2: Electrodomésticos existentes en países de la OCDE .....	29
Tabla 2.3 Energía final en la OCDE (1973-1990).....	31
Tabla 2.4 Energía primaria en la OCDE (1973-1990).....	31
Tabla 2.5 Electrodomésticos, Consumo Unitario de energía , (kwh/año) .....	51
Tabla 3.1 Estimación de elasticidades: Estados Unidos .....	64
Tabla 3.2 Estimación de las elasticidades: Japón.....	65
Tabla 3.3 Estimación de las elasticidades: Europa-4 .....	66
Tabla 3.5 Estimación de las elasticidades: Escandinavia-3.....	66
Tabla 4.1 Contaminantes, fuentes y efectos en la salud .....	69
Tabla 4.2 Coeficientes de emisión de NOx, CO, CO2 y SO2, en la OCDE.....	74
Tabla 4.3 Coeficientes de emisión de la electricidad, en la OCDE.....	74
Tabla 4.4 Fuentes primarias de generación de electricidad.....	75
Tabla 4.5 Índices de cambio: Electricidad y calor distrital.....	82
Tabla 5.1 Ahorro de Energía en el año 2010 para eficiencias de los estándares eléctricos posteriores a 1990 .....	91

## Parte II: México

Tabla 6.1 Población y Vivienda Urbana y Rural en México .....	115
Tabla 6.2 Tamaño de las viviendas .....	117
Tabla 6.3 Saturación de electrodomésticos en México.....	121
Tabla 6.4 Saturación de electrodomésticos en México para distintas tasas de retiro .....	123
Tabla 6.5 Consumo de energía residencial total y per cápita en México .....	125
Tabla 6.6 Saturación e intensidad energética para cocción en el subsector rural .....	129
Tabla 6.7 Saturación e intensidad energética para cocción en el subsector urbano.....	131
Tabla 6.8 Saturación e intensidad energética para calentamiento de agua en el subsector rural .....	132
Tabla 6.9 Saturación e intensidad energética para calentamiento de agua en el subsector urbano .....	133
Tabla 6.10 Saturación e intensidad energética para iluminación .....	135
Tabla 6.11 Diferencias (otros usos de la energía) .....	138
Tabla 6.12 Cambios poblacionales y estructurales.....	139
Tabla 6.14 Estimación de las elasticidades: México .....	140
Tabla 7.1 Coeficientes de emisión de la electricidad .....	143
Tabla 7.2 Emisiones per cápita debidas al uso de la leña.....	146
Tabla 9.1 Intensidades Energéticas por usos finales en países de la OCDE .....	168
Tabla 9.2 Cambios en el uso de energía residencial países de la OCDE.....	169
Tabla 9.3 Estimación del uso de la Energía Residencial en México.....	174
Tabla 9.4 Emisión de NOx, CO, SO2 y CO2 per cápita debidas al uso de energía comercial* residencial en México.....	175
Tabla 9.5 Cambios poblacionales y estructurales en el uso de la energía final residencial en México.....	176
Tabla 9.6 Ahorro de energía para las principales tecnologías.....	177

# Índice de Figuras

## Parte I OCDE:

Figura 2.1 Gasto Privado per cápita (OCDE) .....	19
Figura 2.2 Cambios en el Gasto Privado per cápita (Tasa de crecimiento anual) .....	20
Figura 2.3 Precio del petróleo en el sector residencial (OCDE) .....	21
Figura 2.4 Precio del gas natural en el sector residencial (OCDE).....	22
Figura 2.5 Estimación de las elasticidades: Europa-4.....	23
Figura 2.6 Precio de la energía en los países de la OCDE Promedio anual pesado por el consumo de energía neta .....	24
Figura 2.7 Precio de la energía en los países de la OCDE Promedio anual pesado por el consumo de energía neta de 1973 .....	24
Figura 2.8 Cambios poblacionales en los países de la OCDE .....	25
Figura 2.9 Superficie de las viviendas (OCDE).....	27
Figura 2.10 Uso de energía residencial en OCDE por fuentes de energía (1973 y 1990) .....	32
Figura 2.11 Uso de energía residencial en OCDE, por usos finales (1973 y 1990) .....	33
Figura 2.12 Uso de energía residencial para calefacción (OCDE) Intensidad en calefacción .....	34
Figura 2.13 Uso de energía residencial para calefacción por fuentes de energía.....	35
Figura 2.14 Estándares térmicos: Máximo valor de transmisión en las paredes.....	36
Figura 2.15 Uso de energía residencial para calefacción: Impacto de los cambios en la intensidad energética .....	38
Figura 2.16 Uso de energía residencial para calefacción: Impacto de los cambios en la estructura .....	39
Figura 2.17 Uso de energía residencial para calentamiento de agua en OCDE (por fuentes).....	40
Figura 2.18 Uso de energía residencial para calentamiento de agua en OCDE (intensidad).....	41
Figura 2.19 Uso de energía residencial para cocción en OCDE (intensidad).....	43
Figura 2.20 Uso de energía residencial para cocción en OCDE (por fuentes) .....	44
Figura 2.21 Uso de energía residencial para iluminación en OCDE (intensidad) .....	46
Figura 2.22 Uso de energía residencial para electrodomésticos en OCDE (por vivienda) .....	48
Figura 2.23 Uso de energía por electrodoméstico en OCDE .....	49
Figura 2.24 Impacto de los cambios estructurales .....	52
Figura 2.25 Impacto de cambios estructurales en OCDE Uso de energía vs gasto para consumo privado .....	54
Figura 2.26 Impacto de los cambios de intensidad en OCDE .....	55
Figura 2.27 Cambios en el precio de la energía por regiones de la OCDE .....	56
Figura 2.28 Impacto de los cambios de intensidad: Tasa anual de crecimiento .....	56
Figura 2.29 Uso de energía residencial en la OCDE: Intensidad energética vs precio.....	57
Figura 2.30 Uso de energía residencial para calefacción en la OCDE : Producto de los cambios de intensidad y precio.....	59
Figura 2.31 Uso de energía residencial en la OCDE Producto de los cambios de intensidad y precio.....	59
Figura 3.1 Emisiones de Monóxido de Carbono debidas al uso de la energía comercial en la OCDE .....	71

Figura 3.2 Emisiones de Monóxido de Carbono debidas al uso de la leña en la OCDE .....	72
Figura 3.3 Emisiones de Óxidos de Nitrógeno debidas al uso de la energía comercial en la OCDE .....	73
Figura 3.4 Emisiones de Bióxido de Azufre por usos finales debidas al uso de la electricidad residencial en la OCDE .....	73
Figura 3.5 Emisiones de Bióxido de Carbono por usos finales debidas al uso de la energía comercial en la OCDE .....	76
Figura 3.6 Coeficiente de Emisión de Bióxido de Carbono debido al uso de la electricidad en la OCDE .....	77
Figura 3.7 Emisiones de Bióxido de Carbono por fuentes debidas al uso de energía residencial en la OCDE .....	78
Figura 3.8 Intensidad en las emisiones de Bióxido de Carbono debidas al uso de calefacción en la OCDE .....	80

## Parte II: México

Figura 6.1 Salario medio y mínimo promedio anual en México .....	110
Figura 6.2 Precios de la energía comercial en México Promedio pesado por el consumo de energía .....	112
Figura 6.3 Precios de la energía en México Promedio pesado por el consumo de energía de 1973 .....	113
Figura 6.4 Usuarios residenciales de electricidad en México, por bloque de consumo.....	119
Figura 6.5 Consumo residencial de electricidad en México, por bloque de consumo .....	120
Figura 6.6 Ventas de aparatos domésticos en México .....	122
Figura 6.7 Uso de energía residencial por fuentes, en México .....	124
Figura 6.8 Uso de energía residencial en México por usos finales .....	127
Figura 6.9 Uso de energía residencial por usos finales en el subsector rural en México .....	128
Figura 6.10 Uso de energía residencial por usos finales en el subsector urbano en México .....	130
Figura 6.11 Uso de electricidad residencial por electrodoméstico en México .....	130
Figura 7.1 Emisión de Monóxido de Carbono debidas al uso de energía residencial comercial en México .....	144
Figura 7.2 Emisión de Óxidos de Nitrógeno debidas al uso de energía residencial comercial en México .....	145
Figura 7.3 Emisión de Bióxido de Azufre debidas al uso de energía residencial comercial en México .....	145
Figura 7.3 Emisión de Bióxido de Carbono debidas al uso de energía residencial comercial en México .....	146

# Introducción

Este trabajo es un estudio comparativo del uso de la energía residencial en México y nueve países fundadores de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE)<sup>1</sup>. Su principal objetivo es conocer las causas de las tendencias en el uso de la energía residencial en dichos países, sus efectos ambientales, el potencial técnico de conservación y las posibles políticas de ahorro y eficiencia energéticas. El trabajo se divide en dos partes: La primera presenta el análisis de las tendencias observadas durante el período de 1973 a 1990 así como las perspectivas del uso de la energía residencial en Estados Unidos, Japón, la ex Alemania Occidental, Francia, Italia, Gran Bretaña, Suecia, Dinamarca y Noruega. La segunda expone las tendencias del uso de la energía residencial en México de 1980 a 1990 y analiza y evalúa las posibles aplicaciones de la experiencia de los países de la OCDE al caso de nuestro país.

## 1. ¿ Por qué OCDE y México?

La demanda energética del sector residencial mexicano, que representa cerca del 20% de la energía final del país, creció a una tasa anual promedio del 3.1% entre 1970 y 1990. Debido entre otras causas a la demanda no cubierta<sup>2</sup>, al incremento demográfico, a la creciente urbanización y a la apertura comercial, los escenarios para el año 2000 indican que si se mantiene el patrón de consumo actual, la demanda de energía residencial aumentará en más de dos veces respecto a su nivel de 1990 (Mendoza & Macías 1991).

En el contexto de las dificultades financieras del país para invertir en grandes proyectos energéticos, de los problemas ambientales locales y globales, y de la pobreza de

---

<sup>1</sup>A partir de abril de 1994, México es parte de las naciones que pertenecen a la OCDE. Este trabajo fue concebido antes de que este hecho ocurriera. Esta nueva situación hace que este estudio comparativo adquiera una actualidad aún mayor.

<sup>2</sup>Aproximadamente cerca de 12 millones de habitantes mexicanos no cuentan con electricidad en sus hogares (INEGI 1990)

cerca del 50% de la población mexicana (INEGI 1990), la perspectiva de que la oferta de energía crezca al ritmo de la demanda actual, es impensable. Esto obliga a replantear los patrones de uso de la energía y a construir nuevas políticas de conservación y eficiencia energética más limpias, económicas y equitativas.

En la búsqueda de estas políticas de ahorro y conservación energética, el análisis de las experiencias de otros países es sumamente útil. En particular, el estudio crítico de las causas, problemas y resultados de las políticas de conservación energética de los países industrializados resulta indispensable. La razón de esta revisión se sustenta en dos elementos muy simples. El primero deriva de que es en los países de la OCDE donde se han aplicado principalmente estas políticas de conservación y el segundo radica en el éxito que éstas han tenido.

Asimismo, los cambios energéticos ocurridos en los países de la OCDE fueron acompañados del desarrollo de nuevas metodologías de análisis de las tendencias y prospectiva del uso de la energía. Una perspectiva basada en las necesidades o usos finales de los servicios energéticos de cada sector en contraposición al análisis de la oferta agregada de energía, fue ganando espacio. Este método permitió una mejor comprensión del comportamiento de la demanda de energía y en consecuencia orientó los programas de eficiencia y conservación hacia problemas específicos. La aplicación en el uso de esta metodología de análisis para el caso mexicano es una razón adicional para el estudio del uso de la energía residencial en los también llamados países centrales.

Es importante aclarar sin embargo, que este análisis está lejos de suponer que México seguirá o deberá seguir el camino de industrialización de los países de la OCDE. Por el contrario, en este trabajo se reconocen las características económicas y energéticas mexicanas y se busca hacer una evaluación de las tendencias y experiencias de los países industrializados, en el contexto de la realidad de México.

## **1.1 Contexto internacional: precios y políticas de eficiencia y conservación**

Durante las últimas dos décadas, el consumo de energía primaria mundial se incrementó alrededor de un tercio, (de aproximadamente 230 a más de 350 Exajoules),

con una disminución en la participación de los países industrializados de 60% a 48% y un aumento de la del Tercer Mundo de 20 a 31%<sup>3</sup>. Sin embargo y a pesar de este importante crecimiento, el consumo per cápita de energía de estos últimos se mantuvo en un cuarto en comparación con los países desarrollados (Schipper et al. 1992a)

Las causas fundamentales de la reducción en el uso de la energía en los países industrializados fueron el embargo petrolero de los países de la OPEP en 1973 y la Guerra Irán-Irak en 1979. Estos hechos impactaron el uso de la energía a nivel mundial debido al incremento abrupto de los precios del petróleo y a la presentación de un nuevo dilema para muchos países: seguir incrementando la dependencia de sus economías a la importación de petróleo o replantear los patrones de consumo energético y generar recursos propios.

En este contexto, a principios de los años setenta los estudios acerca de las reservas probadas de hidrocarburos en el mundo, aseguraban que al ritmo de uso en aquel momento sólo quedarían alrededor de 30 años de consumo de petróleo asegurado (World Bank 1992)<sup>4</sup>. Esta situación generó un clima de temor en los países industrializados que derivó en la promoción de políticas de conservación y eficiencia, en la proliferación de alternativas energéticas (desde la nuclear hasta la solar) y en la inversión en investigación y desarrollo para la obtención de tecnología más eficiente.

Después de una década, el efecto de estas políticas fue enorme. Para 1984 los países de la OCDE tuvieron el mismo consumo de energía que en 1973, mientras que su Producto Interno Bruto (PIB) creció en 28%. Esto significó una reducción del 22% en el consumo de energía por unidad de valor agregado (IEA 1991). Sin embargo, después de 1985 este ritmo de disminución en la demanda energética se desaceleró, especialmente debido al colapso de los precios de la energía, al incremento en la producción del petróleo de países fuera de la OPEP y al descubrimiento de importantes reservas petroleras. De no haber sido por la aplicación de diversas políticas de conservación, como es el caso de los estándares en edificios y viviendas o las políticas fiscales, el crecimiento en el uso de la energía en los últimos años hubiera sido mayor.

---

<sup>3</sup>En el caso de los de Europa del este, la ex Unión Soviética y la ex Alemania oriental, su participación se ha mantenido relativamente constante en un 20%

<sup>4</sup>Las reservas probadas de Petróleo y Gas en 1950 eran de 30 billones de toneladas equivalentes de petróleo (BTEP), mientras que en 1990 estas son de 250 BTEP. Adicionalmente se estima que el consumo mundial de petróleo será de alrededor de 100 BTEP en los próximos 40 años (Anderson 1991).

A futuro, es difícil suponer que habrá aumentos significativos en el precio de la energía debido a la seguridad en el suministro del petróleo. Por un lado y como explica Holdren (1992), la escasez de recursos fósiles no parece tener importancia en las próximas dos décadas. Asimismo, la experiencia de la guerra del Golfo Pérsico sugiere que el mercado petrolero mundial ha aprendido a manejar interrupciones temporales en el suministro de este hidrocarburo sin efectos económicos mundiales mayores. Finalmente, se estima que habrá un suministro adicional de petróleo mundial provocado por la modernización de la industria petrolera en Rusia (Schipper & Martinot 1993). De esta forma, es poco probable que en un futuro cercano se registre un aumento importante en el precio de la energía, a menos que ocurra un desastre ambiental mayor al de Chernobyl o una guerra en el Medio Oriente de mayor duración y gravedad para el suministro de petróleo que la del Golfo Pérsico.

Este panorama sugiere que el mercado internacional del petróleo no será un factor que presione para la disminución en el uso de la energía. En la actualidad, los problemas ambientales locales y globales así como las dificultades financieras de los países no industrializados son las fuerzas de mayor influencia en el impulso de programas de conservación y eficiencia energética. Por esta razón, la intervención gubernamental reflejada en la aplicación de diferentes impuestos, de estándares de eficiencia o del manejo de la demanda entre otras, constituye la presión más importante para promover el uso eficiente de la energía.

Sin embargo, la perspectiva de una intervención gubernamental para hacer más eficiente el uso de la energía, encuentra una resistencia derivada principalmente de las tendencias mundiales que proponen un incremento internacional del libre comercio y una disminución progresiva de la participación gubernamental en la economía. Esta contradicción ha originado un nuevo debate en los medios académicos, gubernamentales y en agencias financieras internacionales acerca de la relación entre el uso de la energía y el ambiente, de las vías de crecimiento económico de los países industrializados, de los caminos de desarrollo del Tercer Mundo y de la relación tradicional Norte-Sur. Un concepto que intenta reconocer esta nueva situación es el llamado "desarrollo sustentable".

## **1.2 Nuevo paradigma: desarrollo sustentable**

El concepto de desarrollo sustentable --*sustainable development*-- apareció por primera vez en 1980 en un reporte del Programa Ambiental de las Naciones Unidas (Pierce et al. 1990) y recibió una exposición más popular en el reporte "Our Common Future" de la Comisión Mundial Brundlant de Desarrollo y Ambiente<sup>5</sup> en 1987 (World Bank 1992). En 1992, en la cumbre de la Tierra en Río de Janeiro, este concepto se colocó en el centro del debate.

El término "desarrollo sustentable", entendido como una estrategia que promueve el desarrollo humano en una relación armónica con su medio, fue definido originalmente como un compromiso ético con las futuras generaciones, al concebirse como una estrategia que permitiera cubrir las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer el bienestar de las generaciones futuras (Howarth & Monahan 1992).

A partir de su primera definición, el concepto de desarrollo sustentable se ha ido modificando y autores de muy distintas formaciones teóricas han dado una definición diferente dependiendo de su interpretación. Nuevas y viejas teorías se han ajustado para explicar el nuevo conflicto analítico entre el ambiente y el desarrollo. En este contexto se inserta la actual discusión acerca de la existencia o no de fallas en el mercado y de si la liberalización del comercio ayudará a reconciliar la relación desarrollo-ambiente (Bhagwati 1993, Daly 1993).

Sin obviar este debate, debe ser reconocido el hecho de que la dinámica del mercado por sí sola no ha podido resolver ni los problemas ambientales asociados al desarrollo industrial ni la pobreza extrema de un billón de personas a nivel mundial (World Bank 1992). De hecho, la industrialización y la economía de mercado han generado una parte importante de estos problemas. Basta decir tan sólo que en la actualidad los países industrializados de la OCDE generan cerca de tres y medio veces más bióxido de carbono per cápita, (principal gas invernadero) que los países de ingresos medios y más de cinco veces que la de los países de bajos ingresos (World Bank 1992).

En esta perspectiva, el desarrollo sustentable es un concepto que debe ser entendido a nivel global pero debe reconocer las peculiaridades de cada país. En este

---

<sup>5</sup>Comisión creada por la Asamblea General de la ONU en 1983 (Pierce 1990).

trabajo, el desafío de un desarrollo sustentable se concibe como la generación de los servicios necesarios para el bienestar de la población, sin comprometer los recursos ambientales actuales ni futuros, generando eficiencia, igualdad y respeto en el terreno energético, social y ambiental.

### **1.3 La metodología por usos finales**

Los cambios motivados principalmente por los "choques" petroleros de 1973 y 1979 modificaron por completo la visión de los países industrializados respecto al uso de la energía. Se abrieron nuevos métodos y áreas de estudio y se incorporaron nuevos paradigmas de desarrollo. La aseveración de que el crecimiento económico debía ir acompañado de un crecimiento per cápita del uso de la energía fue cediendo su lugar a los conceptos de eficiencia y conservación.

Contrario a los análisis agregados de la oferta y la demanda de energía, una metodología basada en las necesidades energéticas de cada sector fue adquiriendo progresivamente mayor aceptación. La metodología por usos finales permite analizar las tendencias del consumo de energía para cada uso en cada sector y por lo tanto definir políticas de conservación dirigidas a reducir la demanda de energía en usos finales específicos.

### **1.4 Energía en el sector residencial: OCDE y México.**

El sector residencial representa en promedio el 20% del consumo de energía final en los países de la OCDE. Después de 1973 este sector fue blanco de gran cantidad de políticas de conservación y eficiencia, a tal punto que entre 1973 y 1983 contribuyó en un millón de barriles de petróleo diarios al ahorro de energía en siete países de la OCDE (Schipper & Ketoff 1985). Esta reducción se debió al incremento de la eficiencia energética de todos los usos finales, así como a la sustitución del petróleo por la electricidad y la calefacción distrital<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup>Calefacción o calor distrital es una forma de energía que proviene de bombas o almacenamiento de calor y que es suministrada centralmente por el municipio o distrito.

La disminución en la intensidad energética para calefacción, uso final que representa --con excepción de Japón-- aproximadamente el 60% de la energía residencial de los países en el estudio, fue la causa principal de la caída del uso de la energía del sector. Después de 1973 la mayoría de los países de la OCDE introdujeron regulaciones térmicas para las nuevas construcciones, lo que mejoró el aislamiento de las paredes y techos de las viviendas, promovió el incremento en el uso de la energía solar pasiva (orientación de las viviendas) y la eficiencia de la tecnología para calefacción (ya sea central o por cuarto). Asimismo, los altos precios de la energía provocaron la reducción de las temperaturas interiores.

A diferencia de la calefacción, la utilización de la energía para electrodomésticos tuvo el mayor crecimiento en los últimos 20 años en todos los países de la OCDE. Este uso incluye la preservación de alimentos (refrigeración y congelación), lavado y secado de ropa, lavado de trastes, aire acondicionado, entretenimiento (televisión, radio, etc.) y otros usos misceláneos. A pesar de que en todos los casos el consumo unitario de energía (CUE) de cada electrodoméstico disminuyó, el incremento en el volumen y la diversificación de las características de la mayoría de los electrodomésticos opacó los cambios en la eficiencia (Schipper & Hawk 1991).

Como se mencionó anteriormente, los cambios en los precios de la energía, así como la aplicación de los programas gubernamentales de estándares de eficiencia contribuyeron a la disminución en el uso de la energía. Sin embargo, el colapso de los precios de la energía en 1985 desaceleró la tendencia al aumento en la eficiencia. A futuro se espera que aún cuando los estándares en las nuevas construcciones y electrodomésticos seguirán siendo un motor en el cambio, el bajo precio de la energía disminuirá la velocidad del mismo.

En México, el sector residencial representa también cerca del 20% de la energía final. Sin embargo, existen importantes diferencias en el uso de energía entre México y los países de la OCDE entre las que destacan: 1) Mientras que en los países de la OCDE el uso de energía per cápita residencial disminuyó, en México aumentó a una tasa cercana al 2% anual entre 1970 y 1990. 2) En los países de la OCDE el uso final de mayor importancia es la calefacción mientras que en México la cocción representa alrededor del 60% del consumo de energía final. 3) En México la leña constituye alrededor del 50% del uso de energía final del sector, mientras que para los países de la OCDE ésta es una forma de energía secundaria. 4) La iluminación y refrigeración representan cerca del 60% del

consumo de electricidad residencial en México, mientras que en países de la OCDE (sin tomar en cuenta calefacción, calentamiento de agua y cocción), estos representaban entre el 30 y 40% del consumo eléctrico en 1973, pero su contribución ha decrecido debido al aumento en el uso de otros electrodomésticos. (5) Se estima que la saturación de los refrigeradores en México es de cerca del 60% y de lavadoras de ropa del 42%, en tanto que estos aparatos tienen una saturación del 100% en los países de la OCDE. (6) En México existen todavía familias que no cuentan con electricidad (de 5 a 10%) mientras que desde antes de la década de los setenta, el 100% de las viviendas en los países de la OCDE tienen acceso a ese servicio.

El reconocimiento de estas diferencias es ineludible en el diseño de políticas de conservación de energía en México. En particular la influencia del sector rural y por lo tanto de la leña como recurso energético en el uso de la energía residencial, es una situación particular de las naciones en desarrollo y de la OCDE tienen poca experiencia en este terreno.

No obstante, el estudio de las tendencias del uso de la energía residencial y las políticas de conservación y eficiencia de los países desarrollados, son útiles en el análisis del uso de la energía residencial en el subsector urbano en México. Esto es particularmente cierto si se considera la creciente integración comercial de México con los Estados Unidos, ya que esto ha significado cambios en los patrones de uso de la energía. En general, estos cambios han propiciado una redefinición de las necesidades básicas familiares orientándolas hacia una mayor demanda de bienes de consumo industrial y a la imitación de estilos de vida característicos de los países industrializados (Masera et al. 1991).

Este trabajo se divide en dos partes. En la primera analiza las tendencias del consumo de energía residencial en nueve países de la OCDE y las políticas de conservación más importantes del sector. En la segunda se hace un análisis similar para México (aunque de menor profundidad debido a la falta de disponibilidad de los datos). Finalmente se estudia la influencia de la experiencia de los países de la OCDE a la luz de las necesidades energéticas mexicanas.

La primera parte consta de cuatro capítulos. El primero incluye la metodología de análisis del uso de la energía por usos finales. El segundo define los factores que influyen el consumo de energía residencial, presenta las tendencias agregadas del

mismo, para los países de la OCDE y descompone el uso de la energía en cambios en el tiempo debidos a factores poblacionales, estructurales y de intensidad. En el tercer capítulo se utiliza el análisis econométrico para cuantificar la importancia de las variables económicas en el uso de la energía residencial en las cuatro regiones de la OCDE. En este capítulo se estima la elasticidad demanda-precio de la energía de largo plazo y las elasticidades de la demanda de energía respecto al gasto privado per cápita y el tamaño de los hogares (personas por vivienda). En el cuarto capítulo se calcula la emisión de los principales contaminantes atmosféricos y de bióxido de carbono debidos al uso de la energía residencial y se aplica el análisis de la descomposición de cambios a las emisiones de bióxido de carbono agregando los cambios debidos la configuración de la energía primaria utilizada en el uso de la energía residencial y en la producción de electricidad. Finalmente, en el quinto capítulo se presentan el potencial de ahorro y las políticas de conservación y eficiencia de los países de la OCDE.

La segunda parte del trabajo empieza en el sexto capítulo y en él se estudian las tendencias del uso de energía residencial mexicano a nivel agregado desde 1970 hasta 1990 y por usos finales de 1980 a 1990. En este capítulo se incluyen también un cálculo de las elasticidades demanda-precio y demanda ingreso, y un análisis agregado de los índices de cambio.<sup>7</sup> En el séptimo capítulo se presentan los resultados de calcular las emisiones de los principales contaminantes y gases invernadero asociados al uso de energía residencial en México. En el octavo capítulo se analiza el potencial de conservación y políticas energéticas necesarias para cubrirlo. Finalmente, el noveno capítulo presenta las conclusiones y recomendaciones.

---

<sup>7</sup>Un análisis más detallado requeriría de una serie histórica de datos de la que México carece.

# **Capítulo 1**

## **Metodología**

**El análisis de las tendencias históricas del uso de la energía se basa principalmente en el estudio de las actividades en las que ésta fue consumida y en la forma de interacción hombre-tecnología en el suministro de los servicios energéticos necesarios o deseados. El indicador más agregado que da cuenta de esta relación es la tasa Energía / Producto Interno Bruto (E/PIB). Este índice, denominado intensidad E-PIB, tiene la ventaja de dar una visión global del uso de la energía en un país; sin embargo, tiene la desventaja de ocultar los cambios de las actividades económicas relativas a este indicador económico y la cantidad de energía usada para cubrir dichas actividades.**

**En particular, para el interés de este trabajo, la intensidad agregada E/PIB ayuda poco a explicar los cambios ocurridos en el consumo de energía en los hogares. Esto se debe a que el sector residencial no utiliza energía para producir o generar riqueza, que es lo que constituye y refleja el PIB. El objetivo primordial del uso de la energía en los hogares, es proporcionar bienestar y confort físico (calefacción, agua caliente, cocción de alimentos, etc.). Es por esta razón que los estudios acerca de las tendencias y perspectivas del uso de la energía residencial, utiliza una aproximación metodológica diferente.**

**El enfoque metodológico que este trabajo adopta es el conocido como "por usos finales" (Goldember et al. 1987a) o "de abajo hacia arriba" ("Bottom-up" approach) (Schipper et al. 1985). El principio en el que se basa esta metodología, es la explicación de la demanda de energía a partir de las necesidades de su uso y no de la oferta agregada de la misma, es decir, a partir de las necesidades energéticas o usos finales, como son el calentamiento del espacio interior, la cocción de alimentos, etc. La ventaja de este método es que permite examinar con más claridad las respuestas en la demanda, debidas a gran variedad de causas, entre las que se encuentran, las políticas de conservación y uso**

eficiente, la introducción de nuevas tecnologías, los cambios en el precio de la energía e inclusive las características culturales y los estilos de vida.

## 1.1 Metodología por usos finales o de "abajo hacia arriba"

Siguiendo este método, el consumo total de energía "E" para un sector, es la suma de la energía utilizada por los distintos usos finales. La energía total utilizada en el sector residencial, por ejemplo, será la suma de la energía gastada para el calentamiento del espacio interior, para iluminación, refrigeración de alimentos, etc. Expresado matemáticamente:

$$E = \sum_i E_i \quad (1.1)$$

Donde  $E_i$ , es la energía utilizada por cada uso final "i".

Ahora bien. La energía consumida por un uso final puede ser descompuesta como el producto de tres variables: la intensidad energética de cada uso final, " $I_j$ ", la saturación del uso final, " $S_j$ ", y la actividad agregada o unidad utilizada para contabilizar la intensidad energética " $T$ ".

En general, la intensidad energética representa el inverso de la eficiencia y está definida como el consumo unitario de energía. Por ejemplo, energía por vivienda, por persona, o por unidad de área. La saturación de un uso final es el porcentaje de unidades que tienen una intensidad energética  $I_j$  y  $T$  es el total de dichas unidades. Supongamos, por ejemplo, que en un país imaginario sólo se utilizara energía para iluminación en las viviendas. En dicho país, la energía total "E", estará expresada como el producto de: el promedio de la energía consumida por unidad de área de vivienda para iluminación (intensidad), el porcentaje de viviendas que cuentan con iluminación (saturación) y el área total de todas las viviendas (T). Si se tienen diversos usos finales "i", "E" queda expresada como:

$$E = T \sum_i E_i S_i \quad (1.2)$$

Si se complica el análisis y se agregan las diferentes formas de energía final  $k$ , el consumo total de energía estará expresado por la suma de todos los usos finales y todas las formas de energía final, del producto de: (a) la intensidad energética o el consumo unitario de energía de la forma de energía final  $k$ , (b) la saturación o el porcentaje de personas o viviendas que utilizan la forma de energía final  $k$  para cubrir el uso final  $i$  y (c) el total de la medición unitaria utilizada en la intensidad, es decir  $T$ . En el ejemplo del país imaginario, supongamos que la electricidad y el petróleo diáfano constituyen las formas de energía final utilizadas para la iluminación. Así, la energía total en este país "X" será la suma de: (a) la energía promedio por unidad de área de vivienda que utiliza iluminación eléctrica por el porcentaje de viviendas con electricidad, (b) la energía promedio por unidad de área de vivienda que utiliza iluminación con petróleo por el porcentaje de viviendas con éste energético y (c) el área total de viviendas. En general, esto quedaría expresado matemáticamente por la siguiente ecuación.

$$E = T \sum_i \sum_k (I_{ik} S_{ik}) \quad (1.3)$$

Puede deducirse, entonces, que para poder construir el consumo agregado de energía final residencial a partir de los usos y energías finales, se requieren obtener tres tipos de datos:

(a) Estructura. Se refieren a la "S" y a la "T" de la ecuación (1.3) y son: población, número de hogares, las características de los hogares (si son departamentos o casas por ejemplo), el porcentaje de hogares que utilizan determinado energético para cubrir un uso final y el acopio de determinada tecnología doméstica en cada hogar.

(b) Intensidad. Se refiere a la "I" de la ecuación (1.3) y es el consumo unitario para uno o varios usos finales por forma de energía final "k", como por ejemplo calefacción por unidad de área, calentamiento de agua por vivienda, etc. y

(c) Consumo final de energía del sector residencial. En la mayoría de los países existe un balance de energía que proporciona el consumo final de energía por fuente a

nivel sectorial. La estimación por usos finales del consumo de energía del sector residencial debe coincidir con el consumo del balance.

En este trabajo, los usos finales del sector residencial se han agrupado en la siguiente lista: calefacción, calentamiento de agua, cocinado, iluminación y uso de energía en aparatos electrodomésticos como refrigeración, aire acondicionado, lavadoras y secadoras.<sup>8</sup>

Por otro lado, el consumo de energía es contabilizado de tres maneras distintas: (a) energía final, entregada, o vendida ("delivered energy") que corresponde a la energía que recibe el usuario, excluyendo la conversión de la energía primaria a electricidad. Esta es la medida de lo que el consumidor ve en su recibo más la energía disponible de la recolección de madera; (b) la energía primaria que es la energía final más las pérdidas generadas al producir y distribuir la electricidad y la calefacción distrital y (c) la energía neta que es la energía final menos las pérdidas por combustión<sup>9</sup>. Finalmente es importante señalar que para el caso de la OCDE, para facilitar el análisis comparativo, se presentan los resultados por regiones, en donde "Europa-4" incluye Alemania occidental, Gran Bretaña, Francia e Italia; "Escandinavia-3" representa Suecia, Dinamarca y Noruega y las dos últimas regiones se componen de un solo país cada una, Estados Unidos y Japón<sup>10</sup>.

## 1.2 Índices de cambio

Como se señala en la sección anterior, las variaciones en el uso de la energía en un sector dado, pueden ser atribuidos a tres factores centrales: (a) crecimiento en la actividad agregada, (b) cambios estructurales y (c) cambios en la intensidad energética. El objetivo

---

<sup>8</sup>De acuerdo con la división que establece el Grupo de Estudios Internacionales del Lawrence Berkeley Laboratory (LBL).

<sup>9</sup>Las pérdidas por combustión son 66% en el caso de derivados del petróleo y gas, 55% en el caso de carbón y leña, a excepción de Estados Unidos donde esta última se considera del 34%. El Grupo de Estudios Internacionales del LBL, da el nombre de energía útil (useful energy) a lo que aquí se denomina energía neta. Esta diferenciación se establece debido a que la energía útil debe ser entendida como las pérdidas por generación, distribución y forma de uso de la energía final (comportamiento) dentro del hogar. Esto implica contabilizar la eficiencia de los aparatos, aislamiento del sistema de distribución, uso de los mismos, temperaturas interiores o del agua, las cuales han variado en los últimos veinte años. El concepto de energía neta da cuenta de la importancia del incremento o disminución de la electricidad y el calor distrital como fuente de suministro de energía final para el hogar en los distintos usos finales.

<sup>10</sup>Es importante señalar que los datos de los países de la OCDE que se utilizan en este trabajo fueron obtenidos de fuentes directas de cada país. La lista de éstas fuentes de información se presenta en el apéndice I de este trabajo y en el apartado final de "Referencias".

de la metodología de desagregación de la evolución energética a través de los índices de cambio, es aislar cada uno de estos elementos. Se puede, por ejemplo, mantener constante para cierto periodo " $t_0$ " el consumo de energía para un uso final y permitir la variación de los elementos estructurales.

La revisión bibliográfica acerca de esta metodología, arroja principalmente dos índices de cambio: Laspeyers y Divisa (Boyd et al. 1987, Ross et al. 1993, Howarth & Schipper 1991, Schipper et al. 1992c). La diferencias entre estos índices son analizadas en detalle por Howarth et al. (1991). De acuerdo con estos autores, el índice Laspeyers difiere del Divisa en su concepción; sin embargo, sus resultados empíricos son muy similares. En este estudio se utiliza el índice Laspeyres por considerarse más adecuado para el sector residencial (Schipper & Sheinbaum 1994). Para este sector, el índice Laspeyres se expresa matemáticamente de la siguiente forma:

Recordando la ecuación (1.3) y agregando la variable tiempo, la energía consumida por el sector residencial en el año  $t$  está definida por:

$$E_t = T_t \sum_i \sum_k (I_{ikt} S_{ikt})$$

donde " $i$ " se refiere al uso final, " $k$ " a la forma de energía final y " $t$ " es la variable tiempo expresada en años.

Es evidente que la combinación de los cambios poblacionales, estructurales y de intensidad en el consumo de energía no pueden ser desagregados en una forma lineal única. Sin embargo, es posible hacer una aproximación lineal que responda a la siguiente pregunta: ¿Cómo hubiera evolucionado el consumo de energía si sólo hubiera habido cambios estructurales, o solamente cambios de intensidad, o solamente cambios poblacionales?

En este sentido, el porcentaje en el que hubiese variado el uso de la energía si solamente hubiese habido cambios en la población y se mantuvieran constantes a su valor en el año " $t_0$ " los factores estructurales y los de intensidad sería una sencilla aproximación lineal expresada por:

$$\% \Delta E_T = T_t \sum_i \sum_k (I_{iko} S_{iko} - E_{io}) / E_{io} \quad (1.4)$$

De manera similar, el cambio hipotético en el uso de la energía residencial debido a los cambios estructurales, manteniendo constante las variaciones en la intensidad y la población es:

$$\% \Delta E_S = T_o \sum_i \sum_k (I_{iko} S_{ikt} - E_{io}) / E_{io} \quad (1.5)$$

Y el cambio de la energía utilizada por el sector residencial debido a la intensidad energética, manteniendo constante la población y los cambios estructurales está dado por:

$$\% \Delta E_I = T_o \sum_i \sum_k (I_{ikt} S_{iko} - E_{io}) / E_{io} \quad (1.6)$$

La suma de estos tres cambios no será exactamente igual a la variación real del uso de la energía, ya que no se toman en cuenta las interacciones. Sin embargo, el cálculo empírico demuestra que estas variaciones son pequeñas.

En general, los factores que determinan las variaciones estructurales y de intensidad se alteran dependiendo del uso final. En general, los cambios en la estructura se definen en términos del número de integrantes de un hogar, la posesión de tecnología doméstica y la superficie del hogar. En el caso de la intensidad energética los indicadores se definen como consumo de energía por persona, por casa, por aparato y por unidad de área.

### 1.3 Índices de cambio en las emisiones

La metodología de índices de cambio también puede ser aplicada a las emisiones de un contaminante atmosférico generadas en el uso y producción de la energía como es el caso de los índices Divisa en Torvanger (1991) y de los índices Laspeyres en Sheinbaum y Schipper (1993). Para este análisis, además de los efectos de actividad, estructura e intensidad, deben considerarse los efectos en la configuración por fuentes de la energía primaria y la energía final, ya que al tener cada combustible un coeficiente de emisión distinto, el cambio en la configuración por fuentes energéticas tiene implicaciones en la emisiones producidas.

En términos formales, las emisiones per cápita ( $E_m$ ) en el año  $t$  de un contaminante o gas invernadero debidas al uso de la energía en el sector residencial pueden ser descritas por:

$$Em_t = \sum_i \sum_k (F_{ikt} T_t C_{ikt} I_{ikt} S_{ikt}) \quad (1.7)$$

donde:

$F_{ik}$ : Porcentaje de uso de la forma de energía final  $k$  en el año  $t$  para el uso final  $i$

$C_{ik}$ : Coeficiente de emisión de la forma de energía final  $k$

$I_{ikt}$ : Intensidad energética del uso final  $i$ , de la forma de energía final  $k$  en el año  $t$

$S_{ikt}$ : Saturación de la tecnología del uso final  $i$ , de la forma de energía final  $k$  en el año  $t$

$T_t$ : Población en el año  $t$

Siguiendo con la misma lógica de los índices de cambio para el uso de la energía, los efectos poblacionales en los cambios de las emisiones estarán dados por:

$$\% \Delta E_T = [(T_t \sum_i \sum_k (F_{iko} C_{iko} I_{iko} S_{iko}) - Em_o)] / Em_o \quad (1.8)$$

De manera similar, el efecto estructural o cambio hipotético en las emisiones de un contaminante o gas invernadero en el uso de la energía residencial debido a los cambios estructurales y por lo tanto, manteniendo constante las variaciones en la intensidad y la población es:

$$\% \Delta E_s = [(T_o \sum_i \sum_k (F_{iko} C_{iko} I_{iko} S_{ikt}) - Em_o) ] / Em_o \quad (1.9)$$

Y, el efecto de la intensidad o el cambio en las emisiones debidas a la energía utilizada por el sector residencial manteniendo constante la población y los cambios estructurales está dado por:

$$\% \Delta E_I = [(T_o \sum_i \sum_k (F_{iko} C_{iko} I_{ikt} S_{iko}) - Em_o) ] / Em_o \quad (1.10)$$

El efecto de la configuración primaria de energía, en donde se toma en cuenta los cambios en las fuentes de energía que generan la electricidad y la calefacción distrital está dado por:

$$\% \Delta E_c = [(T_o \sum_i \sum_k (F_{iko} C_{ikt} I_{iko} S_{iko}) - Em_o) ] / Em_o \quad (1.11)$$

Y finalmente, los cambios en la configuración de las fuentes secundarias o la configuración de fuentes en el sector residencial (sin tomar los cambios en la producción de electricidad y calefacción distrital) son:

$$\% \Delta E_f = [(T_o \sum_i \sum_k (F_{ikt} C_{iko} I_{iko} S_{iko}) - Em_o) ] / Em_o \quad (1.12)$$

# **Parte I: OCDE**

## **Capítulo 2**

### **Tendencias históricas del uso de la energía residencial en los países de la OCDE**

Utilizando la metodología explicada en la sección de metodología, este capítulo analiza los cambios en el uso de la energía residencial en los países de la OCDE entre 1973 y 1990. La presentación de los resultados se divide en tres apartados. El primero describe el comportamiento de las variables económicas y estructurales que influyen en el consumo de energía en los hogares. La segunda parte expone cuáles fueron los cambios agregados del uso de la energía residencial y la tercera sección presenta el análisis por usos finales y los resultados de los índices de cambio.

#### **2.1 Factores económicos, estructurales y de población**

Existen modelos --que algunos han dado en llamar "de arriba a abajo"-- que explican las tendencias del uso de la energía residencial como función del ingreso familiar y los precios de la energía (Pokomy 1987, Donelli 1990). Otras orientaciones metodológicas han encontrado que existen otras variables y/o factores relacionados con las características de los hogares, como son la superficie de las viviendas, el tamaño del hogar, ocupación de la vivienda, etc., que también son determinantes de las variaciones del uso de la energía residencial (Schipper et al. 1989, Ester 1985). En este trabajo se analiza la influencia de los dos tipos de variables y se clasifican como económicas (ingreso y precio) y estructurales (Schipper et al. 1992a).

## 2.1.1 Factores económicos

### 2.1.1.1 Ingreso

Las diferencias en el ingreso explican una parte importante de la heterogeneidad en el nivel y los patrones del consumo de energía en los hogares. El incremento en el ingreso permite a una familia la adquisición de viviendas más grandes, mejores niveles de comodidad o confort (calefacción, aire acondicionado, etc.) mayor número de aparatos electrodomésticos, etc., es decir, influye en un mayor consumo de energía. En general puede afirmarse que el análisis comparativo entre países de la evolución del ingreso, permite contrastar la influencia de este indicador, en las tendencias históricas del consumo energético.

En este trabajo, debido a la carencia de una serie histórica de datos del ingreso per cápita para todas las naciones, se presentan los cambios en el gasto privado por persona que representa el ingreso menos los ahorros (IEA 1992). Como puede observarse en la Figura 2.1, entre 1973 y 1990, el gasto privado per cápita (GP) creció casi 50% en cuatro países europeos (Europa-4: Francia, Alemania Occidental, Italia y Gran Bretaña) y en Japón, 28% en los tres países escandinavos (Escan-3: Suecia, Dinamarca y Noruega) y 25% en Estados Unidos.

### Gasto Privado per cápita (OCDE)\* Real (dólares de 1985)

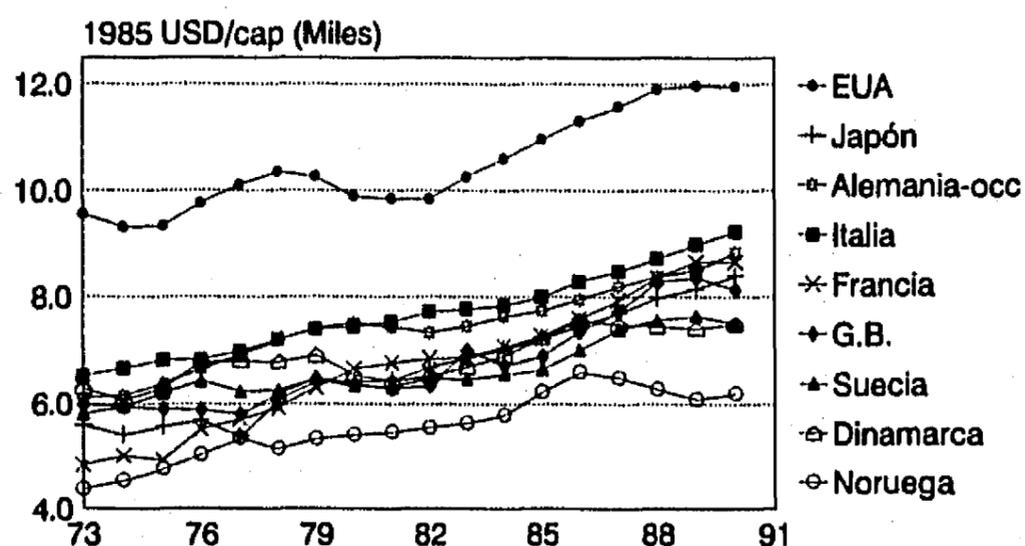


Figura 2.1

\*Calculado con la Paridad del Poder de Compra

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de IEA (1978, 1985, 1992).

Dividiéndolo por períodos, la Figura 2.2 muestra como los países de Europa y Escandinavia tuvieron la mayor tasa de crecimiento anual del GP per cápita entre 1979 y 1985, mientras que Japón y Estados Unidos registraron la tasa más alta en el lapso que va de 1985 a 1990.

En conclusión puede decirse que el GP per cápita en los nueve países aumentó en los cuatro períodos analizados, aunque con distintas tasas de crecimiento. Esto sugiere que el aumento en el GP fue una variable que presionó para el aumento del uso de la energía en todos los países.

### Cambios en el Gasto Privado per cápita (OCDE) Tasa de crecimiento anual

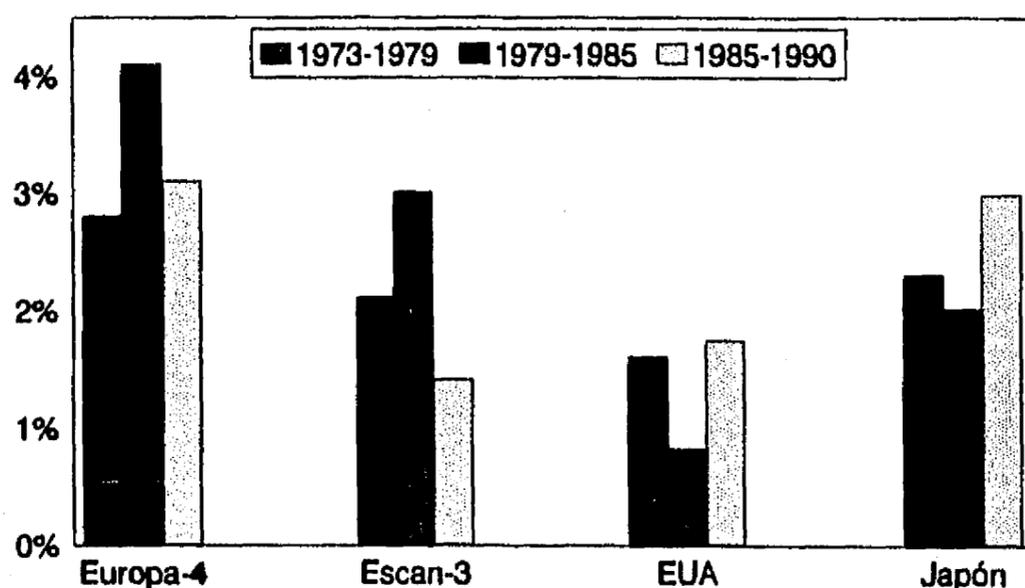


Figura 2.2

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de IEA (1978, 1985, 1990).

#### 2.1.1.2 Precio

En forma muy esquemática puede decirse que en el corto plazo, el incremento en el precio de la energía influye en el usuario forzándolo a disminuir directamente el consumo o haciéndolo utilizar otros combustibles más baratos para cubrir sus necesidades energéticas.<sup>11</sup> En el largo plazo, el aumento del precio de uno o varios energéticos provoca cambios en el usuario y en los fabricantes de equipo doméstico. En los primeros,

<sup>11</sup>Es importante señalar que el incremento en el precio de un energético afecta de manera desigual a distintos sectores de la población dependiendo de su ingreso.

promueve la sustitución de combustible, la inversión en equipo más eficiente y el mejoramiento del existente. En los fabricantes, estimula la investigación y desarrollo de equipos más eficientes (Pierce 1986, Newbery 1984, Levin et al. 1991).<sup>12</sup>

En las dos últimas décadas, los países de la OCDE fueron testigos de tres grandes cambios en el precio de la energía. Entre 1973 y 1981, el precio del petróleo para el sector residencial creció en más de un factor de tres (Figura 2.3)<sup>13</sup>(IEA 1975, 1980, 1992 y F.M.I. 1975, 1980, 1992). Después de 1981, el precio del petróleo decreció en los Estados Unidos y en Japón, mientras que en Europa y Escandinavia se mantuvo alto debido a impuestos. A partir de 1985-86, decreció en todos los países y solamente en Italia enfrentó un aumento, hasta llegar a tener un valor real (a precios constantes de 1985) más alto que el de 1981.

### Precios del Petróleo en el Sector Residencial (OCDE) Precios reales (dólares de 1985)

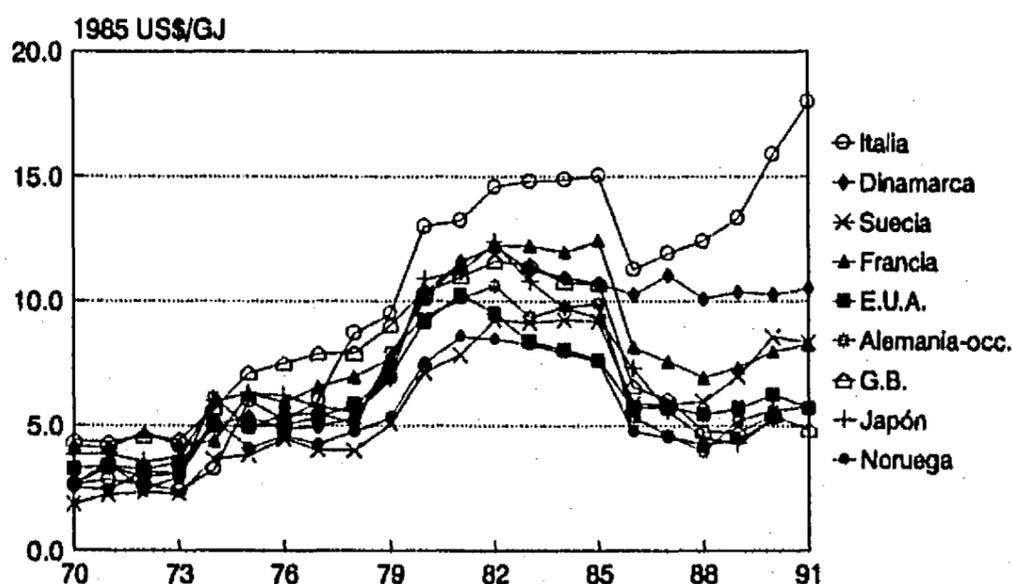


Figura 2.3

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IEA (1978, 1985, 1990) y Baade (1980)

<sup>12</sup>En este apartado se describen los cambios en el precio de la energía. La importancia de éste en las políticas energéticas se discute más adelante.

<sup>13</sup>En el análisis del precio del petróleo, el gas y la electricidad para cada país, se convierten los precios corrientes en la moneda de cada país a precios reales de 1985. Para convertirlo a dólares se utiliza el índice de 1985 de la Paridad en el Poder de Compra (Purchasing Power Parity) entre las monedas locales y el dólar de los Estados Unidos.

A diferencia del petróleo, el precio del gas natural en el sector residencial varió en función de cada país (Figura 2.4). En Estados Unidos, por ejemplo, entre 1973 y 1981 el precio real del gas varió positivamente en un factor de dos y a partir de 1979 y tuvo un decremento lento hasta alcanzar en 1991 el precio que tenía en 1980. En Gran Bretaña por ejemplo, donde el gas es el energético más importante en el sector residencial, el precio disminuyó entre 1973 y 1991, teniendo una ligera alza entre 1979 y 1983. En todos los casos, con excepción de Italia, a partir de 1986 el precio del gas ha disminuido lentamente.

**Precio del gas Natural en el Sector Residencial (OCDE)**  
Precios Reales (dólares de 1985)

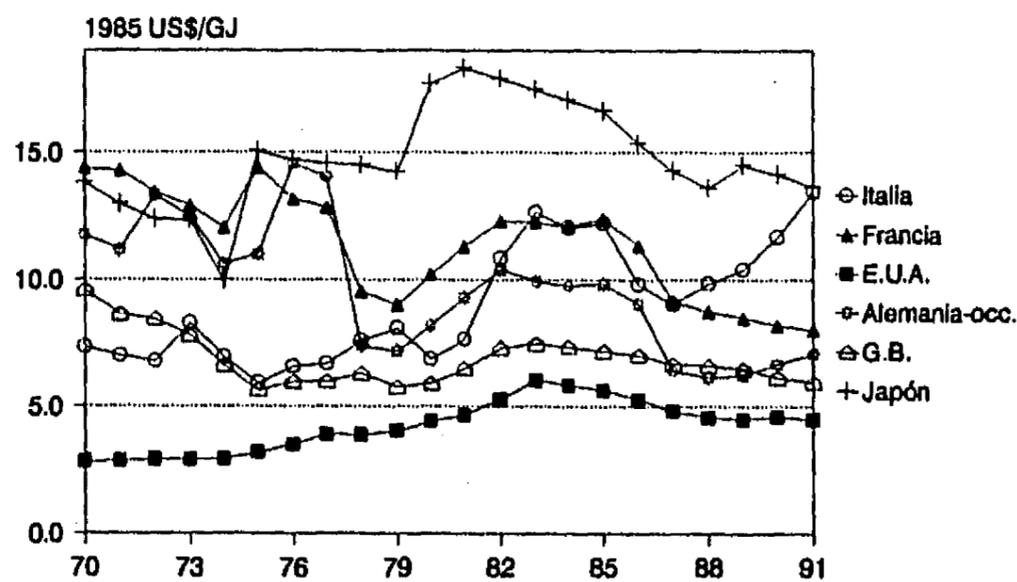


Figura 2.4

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IEA (1978, 1985, 1990) y Baade (1980)

Los precios de la electricidad se mantuvieron constantes o decrecieron entre 1973 y 1990 según el país. En el caso de Japón, Dinamarca, Italia y Gran Bretaña se registró un aumento a partir de 1979, sin embargo en la mayoría de los países el precio de la electricidad comenzó a decrecer a partir de 1982, con excepción de Alemania occidental. Los precios más bajos de la electricidad se registraron en Noruega, Suecia y Estados Unidos (Figura 2.5).

**Precios de la Electricidad en el Sector Residencial (OCDE)**  
**Precios Reales (dólares de 1985)**

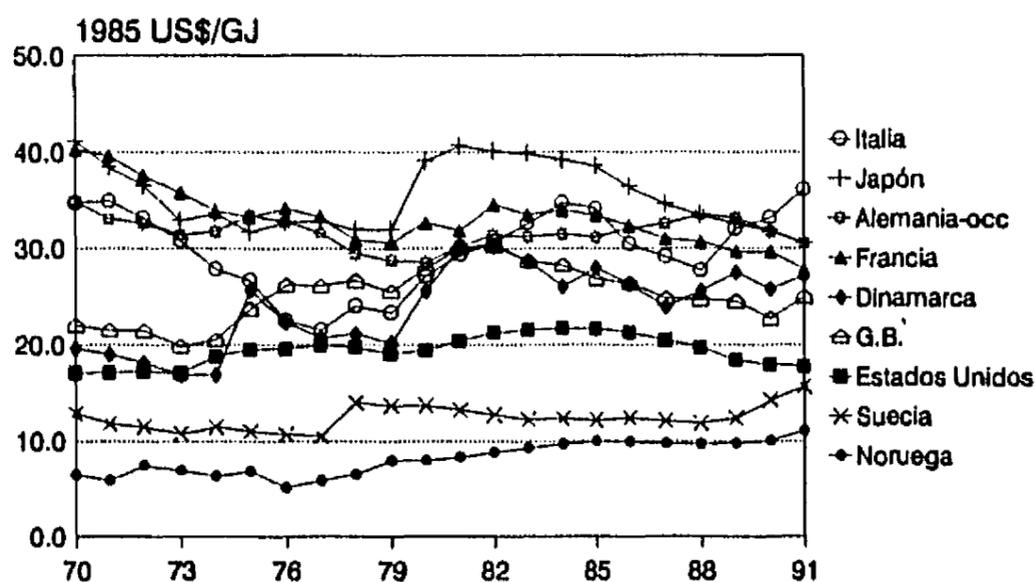


Figura 2.5

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IEA (1978, 1985, 1990) y Baade (1980)

Los precios en Europa occidental varían según el país, debido principalmente a diferencias en las políticas fiscales. En el caso de Italia, Suecia y Dinamarca por ejemplo, a partir de finales de los años ochenta y principios de los noventa, nuevos impuestos a los energéticos provocaron aumento en los precios. A lo largo del periodo 1973-1991 puede decirse que en general los precios más bajos fueron los de Estados Unidos, con excepción de la electricidad de Noruega y Suecia y los precios más altos los de Japón.

La Figura 2.6 muestra el cambio en el precio de la energía en el sector residencial, tomando el promedio del precio de cada energético pesado por su uso neto en cada año (para la electricidad, el gas, el petróleo y el carbón). El decremento en 1986 es evidente comparado con el aumento en los periodos anteriores. Sin embargo, a partir de 1988 se puede observar un nuevo incremento en Suecia e Italia y de menor importancia en Noruega y Alemania occidental.

Un factor importante en el incremento del precio real entre 1973 y 1990 es el aumento en la contribución de la electricidad al consumo total. La Figura 2.7 muestra el precio de la energía manteniendo constante la proporción de los energéticos utilizados en 1973. Como se puede observar el incremento en el precio es menor y la caída de 1986 es

aún más profunda, debido a que se omite el impacto del aumento en el consumo de electricidad.

### Precio de la Energía en los países de la OCDE Promedio anual pesado por el consumo de la energía neta

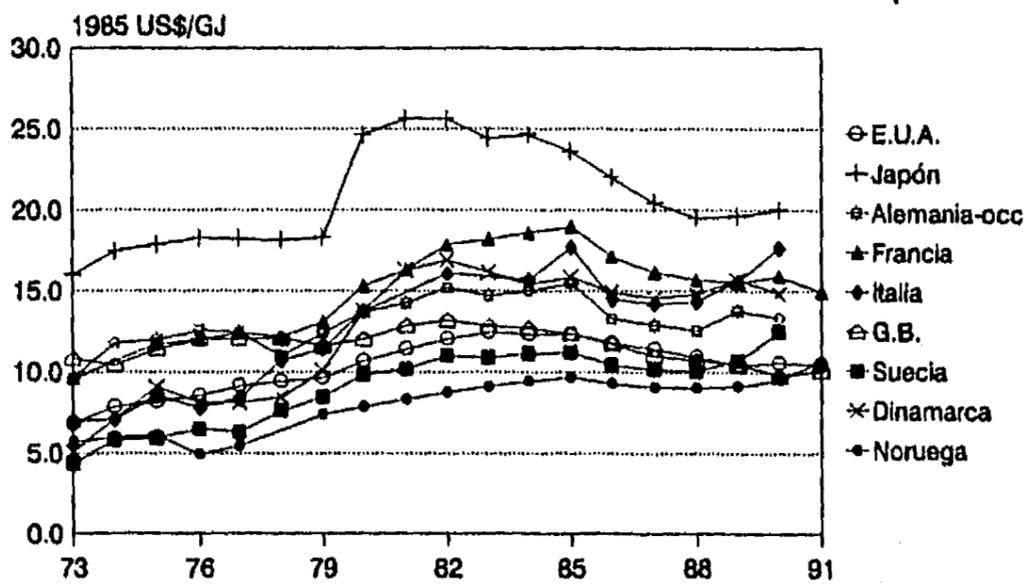


Figura 2.6

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IEA (1978, 1985, 1990) y Baade (1980)

### Precio de la Energía en los países de la OCDE Promedio anual pesado por el uso de energía neta en 1973

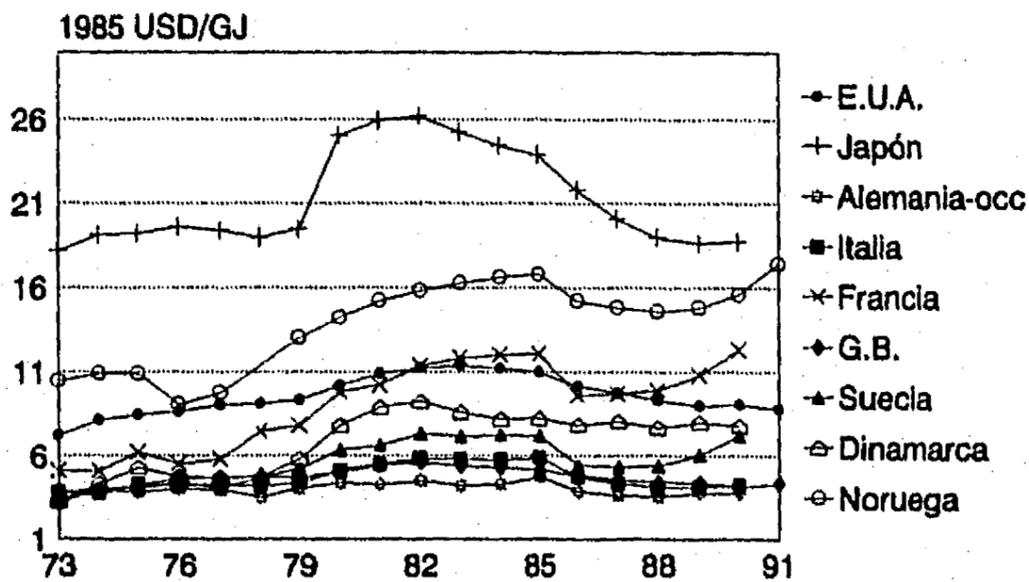


Figura 2.7

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IEA (1978, 1985, 1990) y Baade (1980)

## 2.1.2 Factores de Población

A la evolución del consumo de energía debida a los cambios poblacionales (número de habitantes), se le denominará, de acuerdo con la notación de Schipper et al. (1992a), cambios de actividad. En otros sectores energéticos como el industrial o de servicios los cambios de actividad se deben a la evolución del propio sector medido por índices económicos como por ejemplo el Producto Interno Bruto o el Valor Agregado. En el caso del sector residencial no es sencillo encontrar un elemento que indique el nivel de servicio del sector debido a que existe una gran variedad de usos finales. Por esta razón, los elementos que comúnmente se utilizan para describir la variación en la actividad energética agregada, son la población o el número de viviendas. Debido a que el cambio poblacional es el más estable en todos los países (los cambios en el número de viviendas son menos estables y mayores como se explica más adelante), este trabajo utiliza este indicador. Como lo muestra la Tabla 2.1, el mayor crecimiento poblacional de los países de la OCDE ocurrió en los Estados Unidos, mientras que Alemania occidental sufrió un decremento hasta 1988 y después un ligero incremento. Si la intensidad permanece constante, el aumento en la población promueve evidentemente, un aumento en el consumo total de energía. La Figura 2.8 muestra el cambio en el efecto de actividad o poblacional para los nueve países.

### Cambios Poblacionales en los países de la OCDE

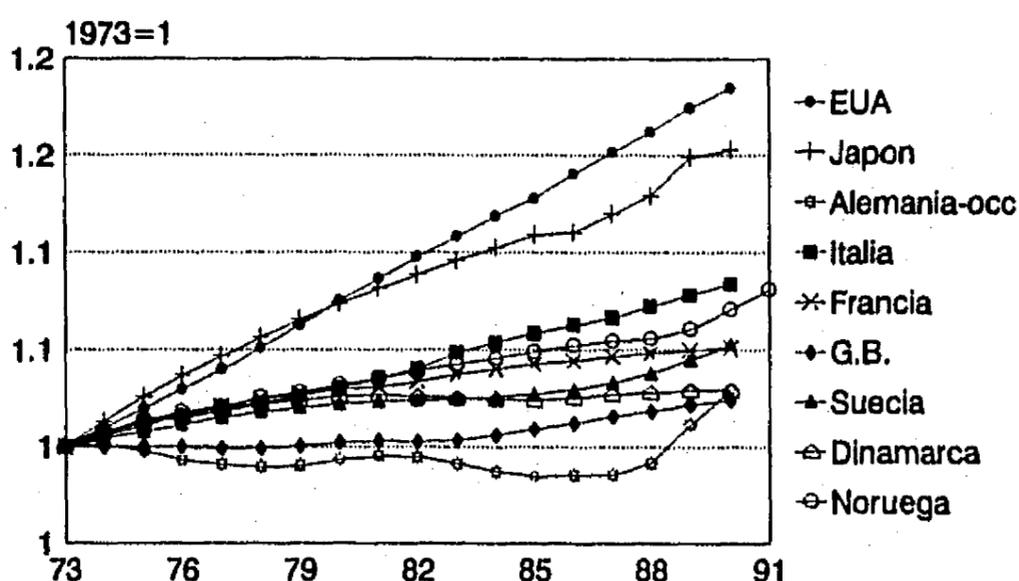


Figura 2.8

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Fondo Monetario Internacional (FMI) y de Censos de población y vivienda de cada país.

### **2.1.3 Factores estructurales**

Los cambios estructurales ocurren a través del incremento en equipo doméstico, o del aumento en el tamaño o capacidad de dicho equipo. Los factores estructurales tienen un efecto de suma importancia en el análisis de las tendencias del uso de la energía, porque muchas veces opacan o enmascaran los cambios en las intensidades energéticas (Schipper & Sheinbaum 1994). La evolución de diversos factores estructurales influyó de manera decisiva en la tendencia del consumo de energía residencial en los países de la OCDE (Ketoff & Schipper 1990). A continuación se señalan los más importantes.

#### **2.1.3.1 Tamaño del hogar**

El crecimiento en el número de hogares fue mayor que el poblacional en todos los países. Esta situación, atribuida entre otras causas a la caída de la tasa de natalidad, la formación de nuevos hogares por jóvenes solteros y el incremento de divorcios (Schipper et al. 1992a) influyó en el uso de la energía residencial por hogar al disminuir el número de habitantes por vivienda. Cuando esto sucede, el consumo per cápita de energía tiende a aumentar debido a que la energía se comparte menos, siempre y cuando no aumenta la eficiencia de los aparatos domésticos y se mantengan constantes las demás variables (clima, saturación de equipo, etc.). Un ejemplo es la iluminación. Una persona en un cuarto utiliza, en general, la misma iluminación que dos o más. Entre 1972-73 y 1990 el tamaño del hogar (número de personas por vivienda), disminuyó de 3.1 a 2.7 en Estados Unidos, de 3.8 a 3.2 en Japón, de 2.6 a 2.2 en Escandinavia-3 y de 2.9 a 2.5 personas en Europa-4.

#### **2.1.3.2 Tamaño de las viviendas**

La superficie de las viviendas creció en los últimos veinte años en todas las regiones (Figura 2.9). Este fenómeno influye directamente en el uso de energía, especialmente para calefacción e iluminación. Entre 1973 y 1990, el área per cápita de la vivienda subió de 45 a 54m<sup>2</sup> en los Estados Unidos, de 21 a 29m<sup>2</sup> en Japón, de 26.5 a 35m<sup>2</sup> en Europa-4 y de 38 a 49m<sup>2</sup> en Escandinavia-3. Como se observa, Estados Unidos es el país con mayor superficie per cápita en la vivienda, situación que explica en parte, el alto consumo de energía per cápita en este país.

**Tabla 2.1**  
**Población, Viviendas y Personas por vivienda**  
**Tasa anual de crecimiento (%)**  
**1972-73-1990**

País	Población	Viviendas	Personas por hogar
EUA	1.0	1.75	-0.77
Japón	0.84	1.83	-1.02
Europa-4	0.27	1.16	-0.9
Alemania-occ	0.17	1.08	-0.91
Francia	0.47	1.33	-0.86
Italia	0.29	1.34	-1.09
Gran Bretaña	0.14	0.93	-0.79
Escandinavia-3	0.29	1.21	-0.77
Suecia	0.3	1.05	-0.75
Dinamarca	0.17	1.32	-1.15
Noruega	0.4	1.46	-1.06

Fuentes: Censos de Población y vivienda de cada país (ver Apéndice 1)

## Superficie de las viviendas (OCDE)

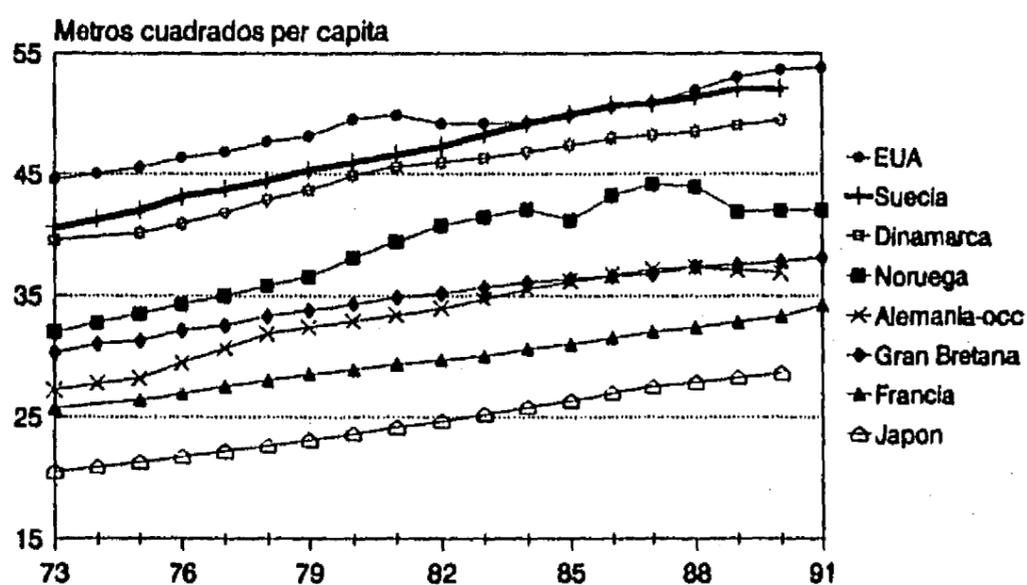


Figura 2.9

Fuente: Elaboración propia a partir de Censos de vivienda de cada país y otras fuentes descritas en el Apéndice I.

### 2.1.3.3 Aumento en la saturación de calefacción central

Los habitantes de viviendas con calefacción central (la cual permite que todos los cuartos de una casa se mantengan a una temperatura deseada) tienen mayor nivel de comodidad que aquellos que utilizan calentadores individuales. Sin embargo este tipo de

calefacción utiliza de dos a tres veces más energía que los calentadores por cuarto. Esto significa que conforme se incrementa el número de viviendas con calefacción central, el consumo de energía aumenta, si todo lo demás permanece constante (por ejemplo si no hay mejoramiento en el aislamiento de las paredes y techos).

El porcentaje de viviendas con calefacción central era bastante alto en los Estados Unidos y Escandinavia-3 a principios de los años setenta, no así en Europa-4, por lo que el incremento en la penetración de esta tecnología (40 a 75% de 1973 a 1990) hizo que aumentara el consumo de energía en esta región. A diferencia de estos países, en Japón el incremento de calentadores por cuarto fue mayor que el de la calefacción central debido a que el clima es menos extremo.

#### **2.1.3.4 Tiempo de estancia en el hogar**

Este es un fenómeno más difícil de cuantificar, sin embargo ha sido probado que en épocas recientes, las casas permanecen vacías por un período de tiempo más largo que en décadas anteriores. Este fenómeno se ha producido principalmente por la mayor participación de la mujer en el trabajo fuera del hogar (Schipper et al. 1985). Esto ha generado una transferencia del uso de la energía del sector residencial a otros sectores, en particular al de servicios.

#### **2.1.3.5 Aumento en el número de electrodomésticos**

El consumo de energía para electrodomésticos ha aumentado rápidamente desde 1973. Dos factores principales han influido en este incremento: el número de los electrodomésticos y el aumento en el tamaño, capacidad y posibilidades de los mismos.

La Tabla 2.2 muestra el aumento en la saturación de seis electrodomésticos importantes: refrigeradores, congeladores, lavadoras de platos, lavadoras y secadoras de ropa. Como se puede observar, la región que mayor electrodomésticos nuevos adquirió fue Europa-4, debido a que en las otras regiones el incremento de aparatos eléctricos tuvo lugar en épocas anteriores (entre 1950 y 1970).

**Tabla 2.2**  
**Electrodomésticos existentes en países de la OCDE**  
**(unidades por 100 viviendas)**

<b>País</b>	<b>Año</b>	<b>Refri.</b>	<b>Conge.</b>	<b>Lavadora Ropa</b>	<b>Lavadora Platos</b>	<b>Secadora</b>	<b>Aire Acon.</b>
<b>EUA</b>	<b>1973</b>	100	34	70	25	38	46
	<b>1990</b>	113	35	76	45	53	68
<b>Japón</b>	<b>1973</b>	100	<1	98	<1	<1	64
	<b>1990</b>	116	<1	99	<1	15	66.7
<b>Europa-4</b>	<b>1973</b>	91	15	71	4	3	
	<b>1990</b>	110	46	89	23	17	
<b>Alemania-occ</b>	<b>1973</b>	98	33	80.1	7	2.0	
	<b>1990</b>	126	76	92.0	34.0	21	
<b>Francia</b>	<b>1973</b>	90.8	12.9	69	<1		
	<b>1990</b>	110.8	44	92	29.4		
<b>Italia</b>	<b>1973</b>	87.5	<1	66.3	6.6	<1	0.7
	<b>1990</b>	97.4	18	85.0	11.4	10	1.0
<b>Gran Bretaña</b>	<b>1973</b>	84.1	7.1	65.4	9.4	1.7	
	<b>1990</b>	102.8	38	88.2	34.9	12.5	
<b>Escandinavia-3</b>	<b>1973</b>	96	52	57	8	9	
	<b>1990</b>	107	75	80	35	32	
<b>Suecia</b>	<b>1973</b>	96.7	54.7	59	11.0	9	
	<b>1990</b>	111.1	81.3	83	39.7	40.1	
<b>Dinamarca</b>	<b>1973</b>	96.5	40.2	40.6	6.1	1.2	
	<b>1990</b>	101.7	63.3	66.1	25.9	3.0	
<b>Noruega</b>	<b>1973</b>	89	57	72.0	3	2.0	
	<b>1990</b>	103.7	77.5	89.9	37.1	31.5	

Ver Apéndice 1 para las fuentes de información de esta Tabla.

## **2.2 Cambios agregados del consumo de energía en la OCDE**

Una vez descritos los factores económicos y estructurales que influyen en el uso de la energía residencial, esta sección da una revisión general de los cambios agregados del consumo de energía en este sector. La Tabla 2.3 muestra la variación del uso de la energía final, total y per cápita para los nueve países de la OCDE en el periodo 1973-1990. Como se observa, la energía final total para el sector decreció en Estados Unidos, Gran Bretaña, Suecia y Dinamarca, mientras que el uso de la energía final per cápita disminuyó en estos países, además de Francia.

Visto por regiones, el uso de la energía final se incrementó anualmente en 0.31% en Europa-4 y 3.3% en Japón. Por el contrario, éste disminuyó en un promedio anual de 0.25% en Estados Unidos y de 0.29% en Escandinavia-3. En el caso de la energía primaria<sup>14</sup>, las variaciones se muestran en la Tabla 2.4. Estados Unidos, Dinamarca y Gran Bretaña fueron los únicos países que disminuyeron la energía primaria per cápita durante el periodo 1973-1990. En los dos primeros casos esto se debió, como se mostrará más adelante, al aumento en la eficiencia del uso de la energía, en el caso de Gran Bretaña fue debido a la disminución del uso de la electricidad en el sector. Para el resto de los países, la energía primaria per cápita subió debido principalmente al incremento del uso de la electricidad y la calefacción distrital.

La diferencia más importante entre los cambios en el uso de la energía final y la energía primaria, se deben a la disminución de la importancia relativa de los derivados del petróleo y al aumento en el consumo de la energía eléctrica. El porcentaje que los derivados del petróleo tenían en la energía final cayó de 28 a 14.7% en Estados Unidos, de 42.3 a 34.9% en Japón, de 61.3 a 40.6% en Europa-4 y de 65.3 a 24.3% en Escandinavia-3. Por el contrario, la importancia relativa de la electricidad creció en 12.9 puntos porcentuales en Estados Unidos, 10.7 en Japón, 4.5 en Europa-4 y 24.5 en Escandinavia-3. El único país donde disminuyó la importancia relativa de la electricidad debido al importante incremento del gas natural fue Gran Bretaña. La Figura 2.10 muestra la variación en la composición por fuentes de la energía final para los nueve países.

---

<sup>14</sup> Como se mencionó en la introducción, la energía primaria se calcula suponiendo un porcentaje de pérdidas en la producción y distribución de la energía eléctrica del 70% y del 15% en el calor distrital.

**Tabla 2.3**  
**Energía final**  
**1973-1990**

País	Energía final (PJ)		Energía final per cápita (GJ)	
	1973	1990	1973	1990
EUA	11.33	10.86	53.6	43.4
Japón	0.91	1.62	8.1	13.1
Europa-4	6.28	6.62	29.1	29.5
Alemania-occ	1.98	2.10	31.9	33.3
Francia	1.8	1.73	28.5	36.1
Italia	1.58	1.7	29.9	29.6
Gran Bretaña	0.95	1.14	17.3	19.7
Escandinavia-3	0.75	0.71	43.6	39.5
Suecia	0.38	0.37	47.0	42.2
Dinamarca	0.12	0.17	29.3	40.5
Noruega	0.25	0.17	49.9	33.4

Ver Apéndice 1 para las fuentes de información de esta Tabla.

**Tabla 2.4**  
**Energía primaria**  
**1973-1990**

	Energía primaria (PJ)		Energía final per cápita (GJ)	
	1973	1990	1973	1990
EUA	16027	18433	75.8	73.6
Japón	1250	2642	11.7	21.4
Europa-4	8150	9307	37.8	41.2
Alemania-occ	2454	2897	39.6	45.4
Francia	1825	2478	35.0	43.9
Italia	1146	1530	20.9	26.6
Gran Bretaña	2726	2403	58.3	50.3
Escandinavia-3	1068	1414	62.5	78.9
Suecia	516	697	63.5	81.5
Dinamarca	295	257	59.2	50.0
Noruega	256	460	64.8	108.5

Fuente: Balances de Energía y Censos de Población y vivienda de cada país (ver Apéndice 1)

## Uso de Energía Residencial (OCDE) por fuentes de energía final (%) 1973 y 1990

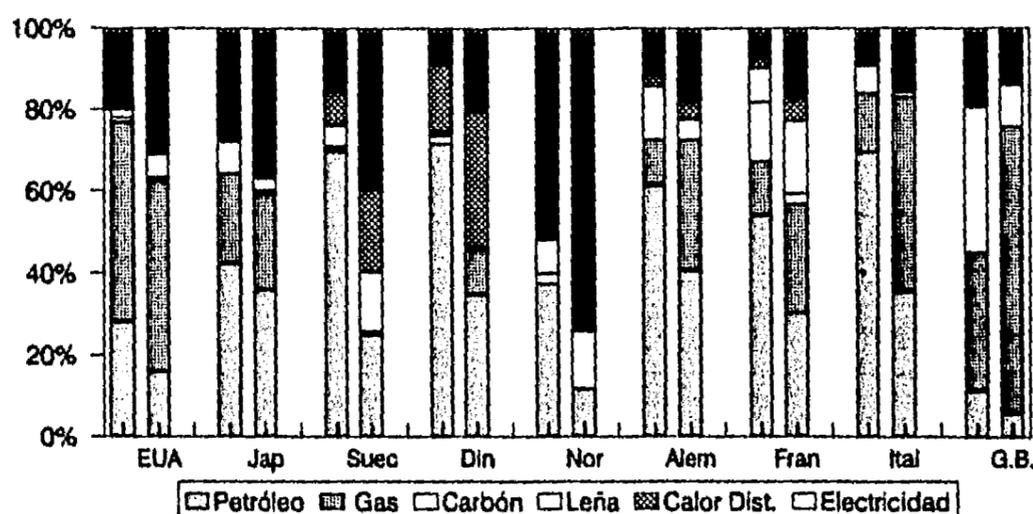


Figura 2.10  
Fuente: Ver apéndice 1

En esta sección se ha descrito cuales han sido las tendencias de la demanda de energía agregada per cápita del sector residencial de los países de la OCDE. Sin embargo, esta información es insuficiente para profundizar en el porqué de los cambios en cada país y en la diferencia entre éstos. Por esta razón se procederá al análisis de los cambios por usos finales y la influencia de los factores poblacionales estructurales y de intensidad utilizando la metodología descrita en el capítulo 1,

## 2.3 Usos finales

### 2.3.1. Calefacción

Como la severidad del clima es diferente en cada año, la energía final para calefacción refleja necesariamente esta variación. Si en un año el invierno fue más severo que en otro, el consumo de energía para calefacción será mayor y esto puede opacar los posibles cambios de la intensidad energética. Por esta razón es conveniente normalizar el consumo energético para calefacción. Esto se hace por medio de una medida denominada día grado. Esta medida establece los requerimientos de calefacción integrando estacionalmente la diferencia entre la temperatura exterior y una temperatura interior de

referencia, que en este caso es de 18°C. Una vez obtenido el día grado (base 18) para cada año, se construye un índice que es el resultado de dividir el valor del día grado en un año, entre el día grado histórico de cada país. Esto permite establecer comparaciones del consumo de energía para calefacción, minimizando la influencia de las variaciones climáticas anuales.

Los requerimientos energéticos para calefacción están influenciados principalmente por el mejoramiento en el aislamiento de las paredes y techos de las viviendas, por el uso de la energía solar pasiva (orientación de las viviendas), la eficiencia de la tecnología para calefacción (ya sea central o por cuarto) y la variación en las temperaturas interiores (Schipper et al. 1992b).

La Figura 2.11 muestra el uso de la energía por usos finales para las cuatro regiones suponiendo el clima histórico de Europa (2,700 días grado). Como puede observarse, el uso final que más energía consume es la calefacción, representando alrededor del 60% del uso de la energía final para todos los países excepto para Japón. Sin embargo, su importancia relativa para cada país ha disminuido debido al aumento relativo de otros usos y su propio decremento.

## Uso de la Energía Residencial (OCDE) Por usos finales (energía final)

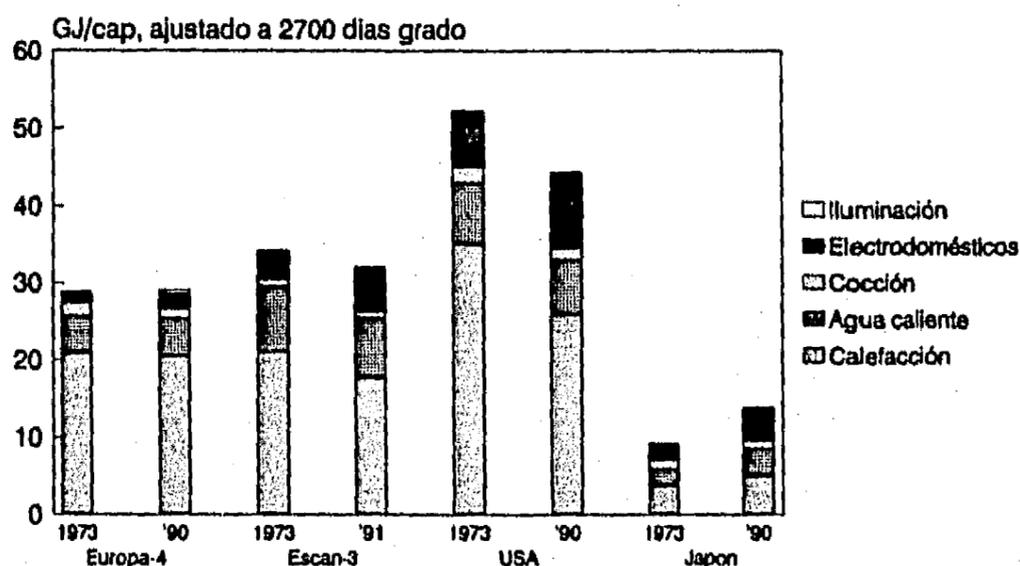


Figura 2.11  
Fuente: Ver apéndice I

Una medida que permite evaluar los cambios en este uso final es la intensidad energética medida como el uso de la energía neta para calefacción por día grado y metro cuadrado por vivienda. Entre 1973 y 1990, la intensidad disminuyó 24% en Europa-4, 32% en Escandinavia-3, 24% en Estados Unidos y 3% en Japón (Figura 2.12).

### Uso de Energía Residencial para calefacción Intensidad (Energía neta)

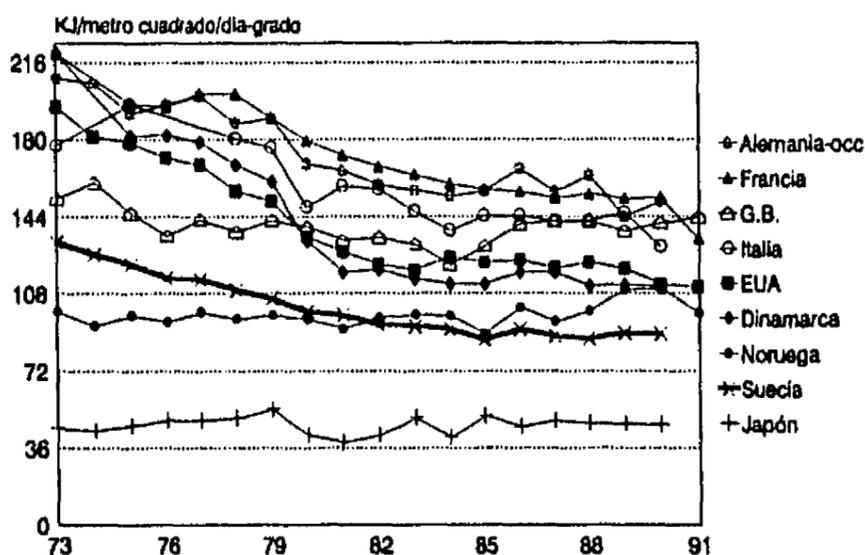


Figura 2.12

Fuente: Actualización propia a partir de la gráfica presentada en Schipper et al. (1992a) (Apéndice 1).

La importancia de medir la intensidad energética como la variación de la energía neta, es que toma en cuenta el incremento del uso de la electricidad y la calefacción distrital. Como se explicó en la sección anterior, el uso de los combustibles fósiles y la biomasa en las viviendas involucra pérdidas por combustión. La sustitución de gas, derivados del petróleo, carbón y leña por electricidad o calefacción distrital, hace el uso de la energía en el hogar (sin tomar en cuenta las pérdidas debidas a la generación y distribución) más eficiente debido a que evita dichas pérdidas (Ketoff & Schipper 1990; Figura 2.13). En consecuencia, el aumento en el número de viviendas con electricidad para calefacción provoca un aumento en la eficiencia.

La disminución de la intensidad en tres regiones se debió al decremento en las temperaturas interiores, al mejoramiento en el aislamiento de las paredes y techos sobre todo de las casas que fueron construidas a partir de 1975 (Figura 2.14) y al mejoramiento de la tecnología. Después de 1973, la mayoría de los países de la OCDE introdujeron regulaciones térmicas para las nuevas construcciones. Algunos países como Suecia y

Alemania occidental, establecieron inclusive regulaciones para las viviendas construidas antes de 1973 (IEA 1991) y otros como Francia dieron facilidades para el aislamiento de estas viviendas (préstamos, rebajas, etc.; Angioletti 1992).

**Uso de Energía Residencial para Calefacción (OCDE)**  
**Por fuentes de energía (1973 y 1990)**  
**Porcentaje de viviendas**

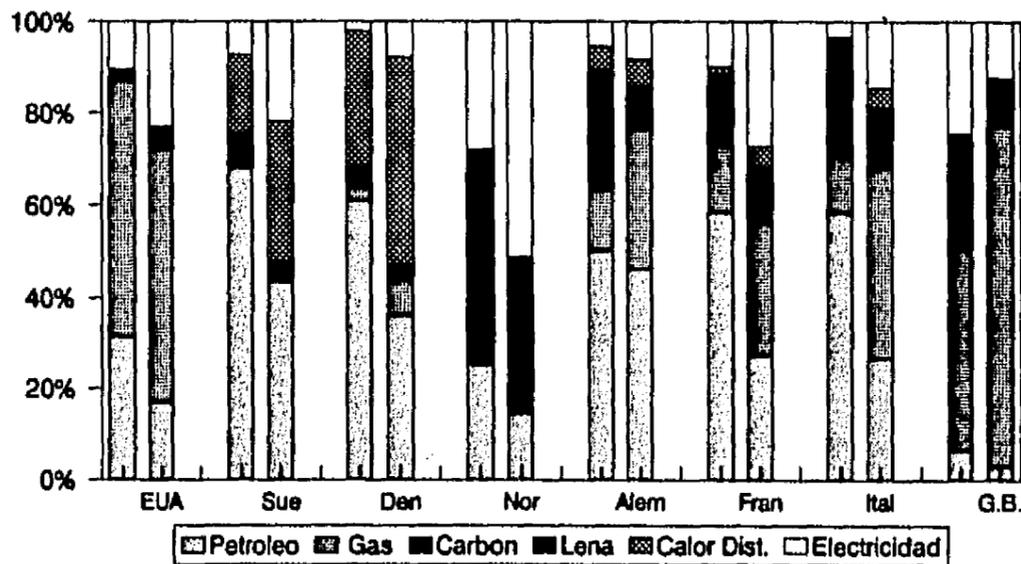
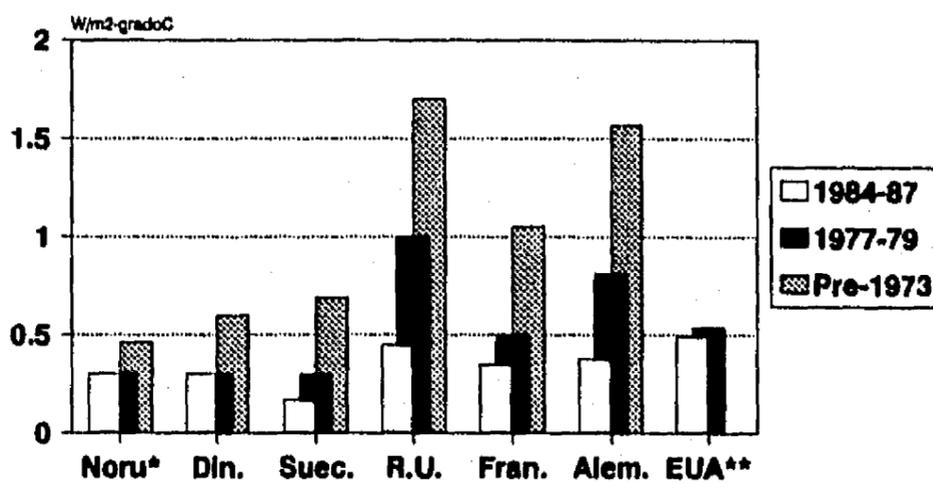


Figura 2.13  
 Fuente: Ver apéndice 1

**Estándares Térmicos**  
**Máximo Valor de Transmisión de calor en las paredes**



\* valor de paredes y ventanas  
 \*\* valor Pre-1973 en EUA no disponible

Figura 2.14

Fuente: Ketoff y Schipper (1990)

Sin embargo, es más factible suponer que entre 1973 y 1979, la disminución en la energía utilizada para calentar un metro cuadrado de vivienda (intensidad) se debió al decremento de las temperaturas interiores en las viviendas ya que la influencia de las nuevas construcciones y la tecnología más eficiente no había alcanzado una importante penetración en el mercado.

De hecho en Estados Unidos, el porcentaje de casas que disminuyó la temperatura interior de 70 a 52 grados Fahrenheit (alrededor de 21 a 11 grados Celsius) del invierno de 1972 al invierno de 1974 fue de 85% (Meyers, 1987), sin embargo a partir de 1981 las temperaturas interiores volvieron a subir, debido fundamentalmente a la estabilización de los precios de los energéticos. En Dinamarca y Alemania occidental algunas encuestas revelan el mismo patrón de comportamiento, sin embargo la disminución en las temperaturas fue menor debido a que la temperatura original no era tan alta como en Estados Unidos. Entre 1973 y 1979 la intensidad energética para calefacción tuvo un decremento anual promedio de 1.4% en Europa-4, 3.67% en Escandinavia-3, 4.26% en Estados Unidos y un incremento de 2.9% en Japón.

Después de 1979, la mayor participación de las nuevas construcciones con normas de aislamiento en el total de viviendas comenzó a afectar el valor de la intensidad. Así mismo, el aumento en la eficiencia de los equipos para calefacción se incrementó. Por ejemplo, en Estados Unidos los calentadores ("hornos" para calefacción central) de gas aumentaron su eficiencia en un 20% entre 1975 y 1987 (U.S. DOE 1988). Es así que entre 1979 y 1985 la tasa de decremento anual de la intensidad fue de 2.88% en Europa-4, 3.8% en Escandinavia-3, 3.51% en Estados Unidos y 0.94% en Japón.

Después de 1985 la tasa anual promedio de cambio de la intensidad energética para calefacción disminuyó en todos los países debido fundamentalmente a la disminución en el precio de los hidrocarburos. De esta forma, entre 1985 y 1990 ésta tasa registró un decremento de 0.52% para Europa-4, 1.74% para Estados Unidos, 1.71 para Japón y creció 1.19 en Escandinavia-3.

Tomando en cuenta los tres periodos, la regulación en las nuevas construcciones tuvo mayor efecto en los Estados Unidos. Esto se debió a que para 1987, alrededor del 25% de todas las viviendas se había construido después de 1975, mientras que en Europa-4 y Escandinavia-3 solamente entre el 18 y el 20% (Schipper et al. 1992a).

Esta descripción de los distintos periodos de evolución de la calefacción en los países de la OCDE da una perspectiva general de los cambios en este uso final, sin embargo, la intensidad medida como el uso de la energía para calefacción por unidad de superficie y día grado, se ve opacada en muchos casos por el incremento en la calefacción central y/o el incremento de calentadores locales como es el caso del Japón. Por esta razón, se hace necesario el análisis de este uso final separando los factores estructurales y de intensidad energética.

### **2.3.1.1 Índices de cambio: calefacción**

Los factores estructurales que han tenido mayor influencia en el aumento del consumo de energía para calefacción son el aumento en el área de las viviendas y en la saturación de calefacción central. Esta influencia es clara en la comparación entre Estados Unidos Escandinavia y Europa. En las dos primeros (particularmente Suecia y Dinamarca en el caso de Escandinavia) la intensidad disminuyó más que en el tercero por la mayor penetración de calefacción central<sup>15</sup> (Schipper et al. 1992a, IEA 1990). En el caso de la superficie de los hogares, es claro que los países que tienen mayor consumo de energía para calefacción por hogar son los que tienen mayor superficie por vivienda (Estados Unidos, Suecia y Dinamarca).

De acuerdo con la metodología de los índices de cambio, para evaluar el cambio debido solamente a la intensidad energética para calefacción, se mantienen constantes (a su valor de 1973) los cambios estructurales (aumento en el área y penetración de calefacción central). El resultado nos indica, que de no haber sido por los cambios estructurales, entre 1973 y 1990 la intensidad energética para calefacción hubiera disminuido, 35% en Europa-4 ( en vez de 15%), 1% en Japón (en vez de incrementarse) 44.5% en EUA y 36.4% en Escandinavia.

---

<sup>15</sup> En 1973 Estados Unidos tenía una penetración de calefacción central del 83.6%, Escandinavia-3 de 76.2%, Europa-4 de 36% y Japón de menos del 1%.

## Uso de energía para calefacción (OCDE) Impacto de los cambios en la intensidad (Manteniendo otros factores constantes)

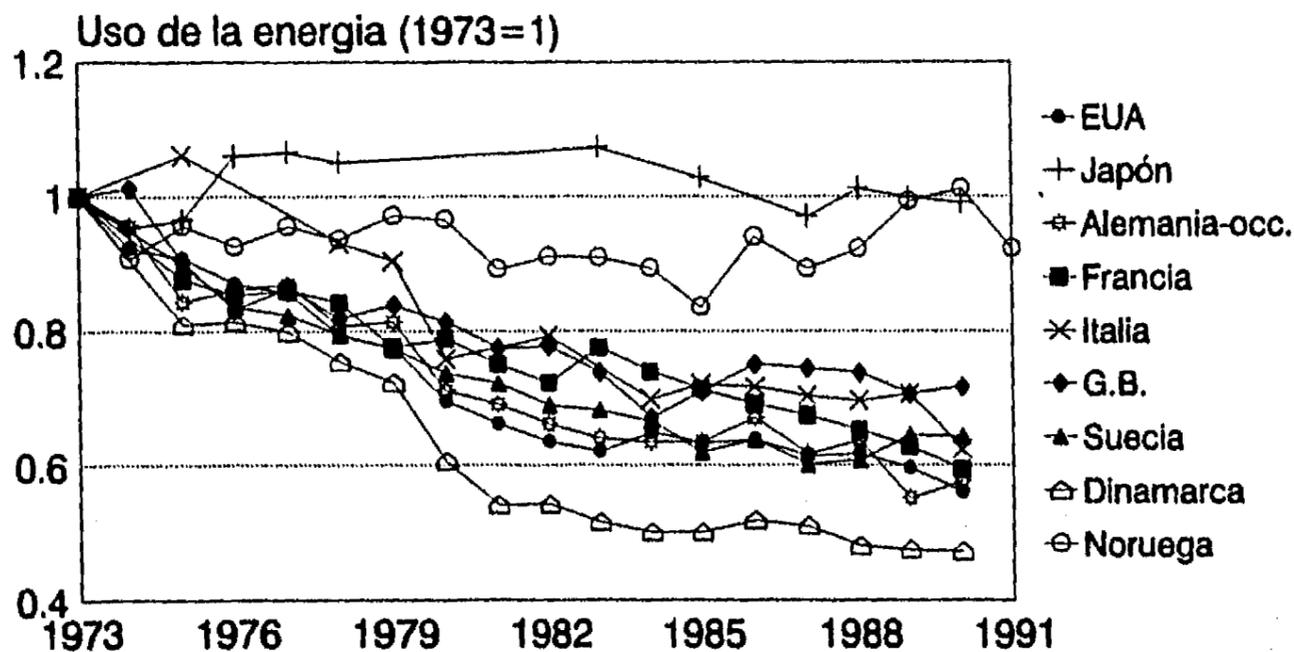


Figura 2.15

Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes descritas en Apéndice 1

Las Figuras 2.15 y 2.16 muestran las tasas de crecimiento anual de los índices de cambio de intensidad y estructura respectivamente para el caso de la calefacción. En la primera figura se observa claramente como el decremento en la intensidad presionó hacia la disminución del consumo de energía para este uso. En la segunda se aprecia como los factores estructurales presionaron hacia el aumento del consumo de energía final para calefacción.

## Uso de energía para calefacción (OCDE) Impacto de los cambios estructurales (Manteniendo otros factores constantes)

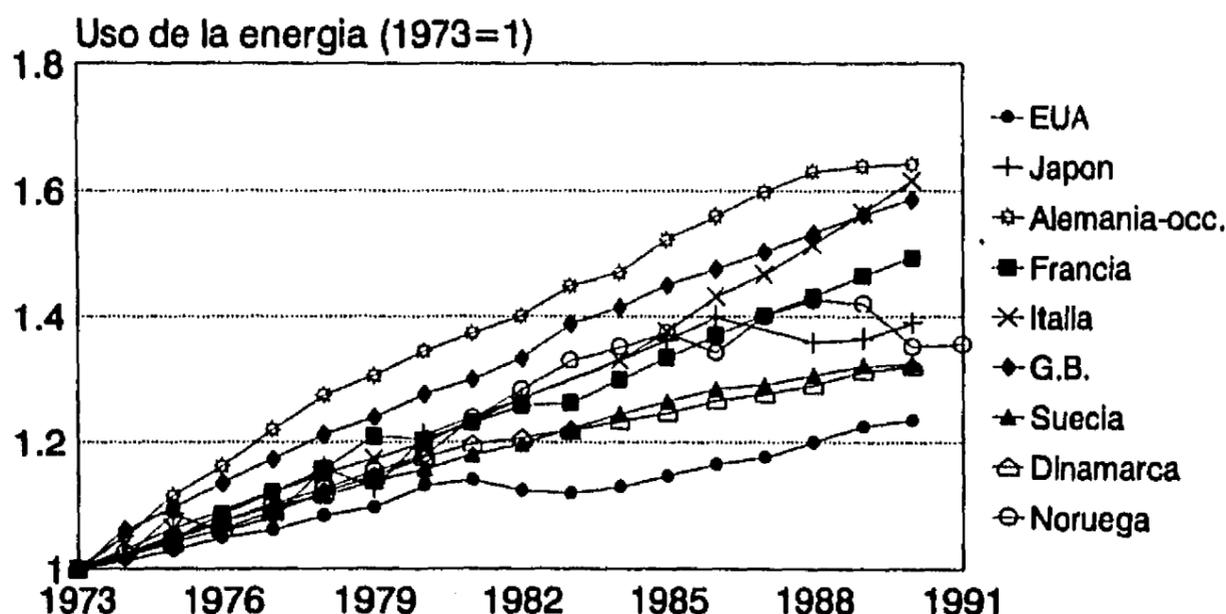


Figura 2.16

Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes descritas en Apéndice I

### 2.3.2 Calentamiento de agua y cocción

#### 2.3.2.1 Calentamiento de agua

Este uso tiene el segundo lugar en importancia después de la calefacción. El agua caliente es utilizada para baño personal y lavado de ropa y platos. En Estados Unidos, Escandinavia-3, Italia y Gran Bretaña el calentamiento de agua representa entre el 18 y el 23% de la energía total, en Alemania occidental y Francia alrededor del 12% y en Japón el 40%.

Los requerimientos de energía para calentamiento de agua han variado debido a cambios tecnológicos como son el aumento de la eficiencia en los calentadores de agua, el incremento en el aislamiento de los mismos, la aparición de nuevos detergentes para ropa que requieren agua menos caliente, el aumento en la saturación de lavadoras de ropa y platos y algunos elementos de comportamiento o costumbre de los usuarios como la variación de la temperatura para baño. En el caso de Europa central, un elemento adicional afectó el consumo de agua caliente a principios de los años setenta y este fue la

saturación de casas con tubería de agua caliente.<sup>16</sup> En 1973, 5% de los hogares europeos aún no contaban con este servicio (Schipper, Meyers 1992).

La Figura 2.17 muestra la variación del porcentaje de viviendas según la fuente de energía final para calentamiento de agua. Como se observa, los únicos países donde el número de viviendas que usaban electricidad para calentar agua disminuyó en Alemania occidental e Italia. Es difícil evaluar la intensidad medida como el uso de la energía per cápita o por casa para este uso debido a que normalmente el mismo combustible y a veces el mismo equipo es utilizado para suministro de calefacción y agua caliente (como es el caso de la calefacción central), lo que dificulta la obtención de datos precisos. Sin embargo, encuestas y mediciones en los hogares para cada país, permiten establecer una estimación (ver Apéndice 1 para referencias).

**Uso de Energía Residencial para agua caliente (OCDE)**  
**Por fuentes de energía (1973 y 1990)**  
**Porcentaje de viviendas**

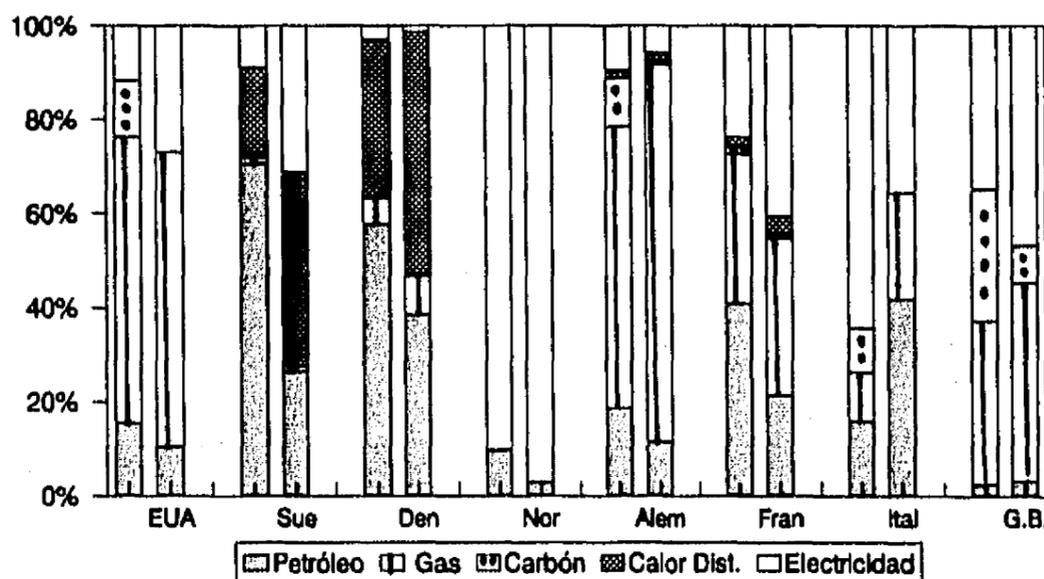


Figura 2.17  
 Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes descritas en Apéndice 1

En este caso se utilizará la energía neta por vivienda como medida de la intensidad. Al igual que en la calefacción, la ventaja de utilizar la energía neta en vez de la energía

<sup>16</sup>Este cambio se aprecia claramente en el cambio estructural que se describe más adelante en el análisis de índices de cambio para agua caliente.

La intensidad energética medida como la energía para calentamiento de agua por vivienda se muestra en la Figura 2.18. Como puede observarse el consumo de energía para este uso final decreció de 10.3 a 9.1 GJ/vivienda en Europa-4, de 16.4 a 14.7 GJ/vivienda en Escandinavia-3, de 17.1 a 13.6 GJ/vivienda y de 5.6 a 7.8 GJ/vivienda en Japón.

### Uso de energía Residencial (OCDE) Calentamiento de agua (energía neta)

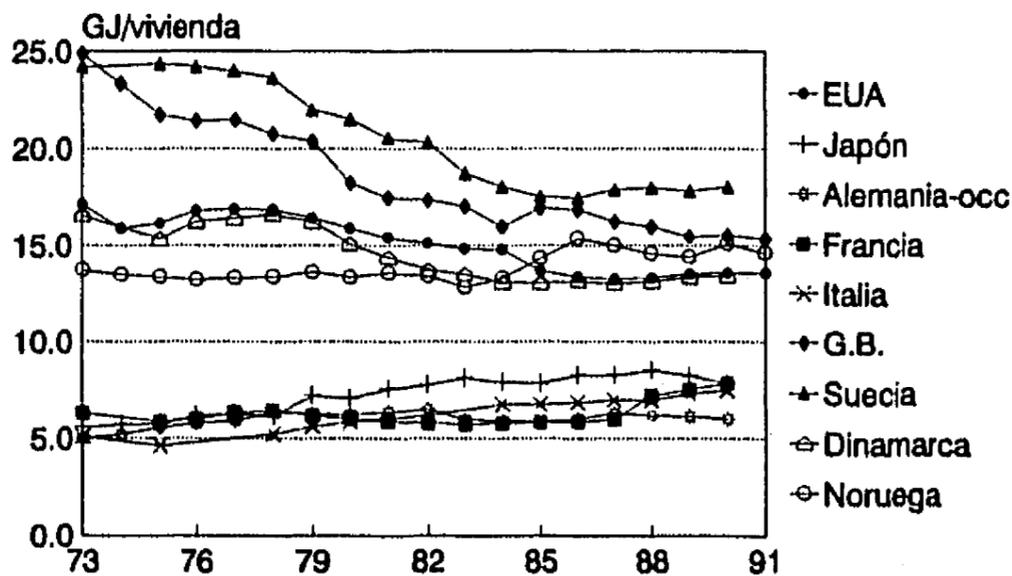


Figura 2.18

Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes descritas en Apéndice 1

Si se analiza la variación de la intensidad por periodos, se puede encontrar claramente que en el caso de Escandinavia-3, Europa-4 y Estados Unidos, de 1973 a 1985 hay decremento en el consumo de la energía neta. Sin embargo, de 1985 a 1990 es claro un cambio en la tendencia ya que en las dos primeras regiones la intensidad tiene una tasa de crecimiento positiva (0.9% y 1.02% anual respectivamente) y en Estados Unidos ésta sigue siendo negativa, pero mucho menor en términos absolutos que lo que fue en los periodos anteriores (0.12% a comparación de 3.08% de 1979 a 1985). En el caso de Japón se registra una tendencia completamente distinta ya que durante los dos primeros periodos (1973-1979 y 1979-1985) hay una tasa de crecimiento positiva (4.3% y 1.37% respectivamente) y en el último periodo se registra una tasa de crecimiento anual pequeña pero negativa (-0.04%).

La variación en la tasa de crecimiento de los distintos periodos puede ser explicada por la disminución del precio de la energía en el último periodo. Existen estudios que muestran que mientras el precio de la energía es mayor la temperatura para agua caliente disminuye (Meyers 1987). Basado en esto, se puede suponer que la disminución en el precio de la energía influye en el aumento de la temperatura del agua caliente para aseo personal, lavado de ropa y platos. En el caso de Japón, el importante incremento de los dos primeros periodos está relacionado con el aumento en la saturación de aparatos domésticos que usan agua caliente.

Un elemento adicional que explica estas variaciones es el cambio en el número de habitantes por hogar. Como se mencionó anteriormente, este fenómeno presiona para la disminución en el uso de energía por vivienda. Es interesante observar que durante los dos primeros periodos, la tasa de disminución anual de personas por vivienda fue mayor que la del último periodo en Europa-4, Escandinavia-3 y Estados Unidos, mientras que en Japón la mayor tasa de decremento de esta variable se registró en el último periodo. Esto significa que mientras que en tres regiones un factor estructural que presionaba hacia la disminución del uso de la energía por vivienda comienza a estabilizarse, en Japón aún tenía un gran efecto en el último periodo.

### **2.3.2.2 Cocción**

La cocción de alimentos representa alrededor del 5% del consumo total de energía para la mayoría de los países, con excepción de Italia y Japón en los que representa alrededor del 10%.

La Figura 2.19 muestra la variación de la energía utilizada para cocción por vivienda en los nueve países. Como puede observarse Japón registró una tasa de crecimiento anual positivo para los tres periodos, incluso cuando en términos absolutos ésta haya disminuido (0.97%, 0.74% y 0.3% respectivamente). En el caso de Europa-4 y Escandinavia-3 se registra un comportamiento semejante que consiste en tasas de crecimiento anuales negativas en los tres periodos pero menores en términos absolutos entre 1979 y 1985. En el caso de Estados Unidos, la tasa de crecimiento es negativa para los tres periodos y va disminuyendo en términos absolutos.

## Uso de energía Residencial (OCDE) Cocción (energía neta)

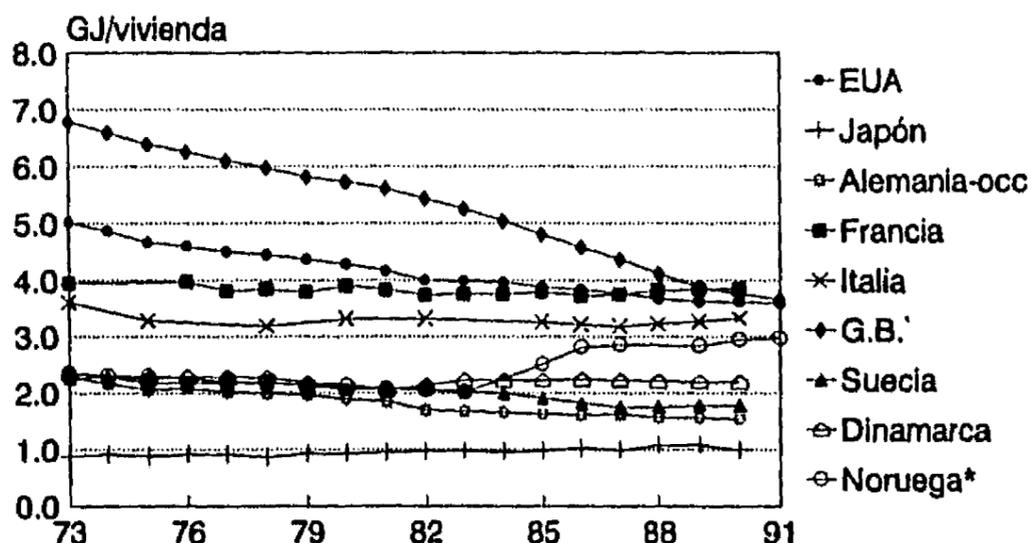


Figura 2.19

\* Datos en revisión

Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes descritas en Apéndice 1

Para este uso también se registra un importante aumento en el uso de la electricidad en detrimento de los derivados del petróleo y el carbón. A excepción de Suecia y el Reino Unido, los demás países tuvieron un incremento en el uso de la electricidad para cocinado. En el caso de Francia, Dinamarca e Italia el número de viviendas que usaban electricidad para este uso se duplicó entre 1973 y 1990, como se puede observar en la Figura 2.20.

Es difícil explicar los cambios del uso de la energía en la cocción de alimentos. La falta de estudios detallados sobre los cambios en los hábitos de cocción, así como la introducción de una variedad inmensa de pequeños electrodomésticos y comida pre-cocida hace incluso más difícil el análisis. La forma de cocinado ha cambiado considerablemente como resultado de la disminución en el número de habitantes por casa, la mayor participación de la mujer en el trabajo fuera del hogar, la introducción de aparatos electrodomésticos para cocinado como el horno de microondas y cambios en los hábitos como las comidas fuera de casa. La dificultad de medir los cambios debidos a estos efectos estructurales limita la medición de la intensidad energética como el uso de la energía neta por hogar.

**Uso de Energía Residencial para cocción (OCDE)**  
**Por fuentes de energía (1973 y 1990)**  
**Porcentaje de viviendas**

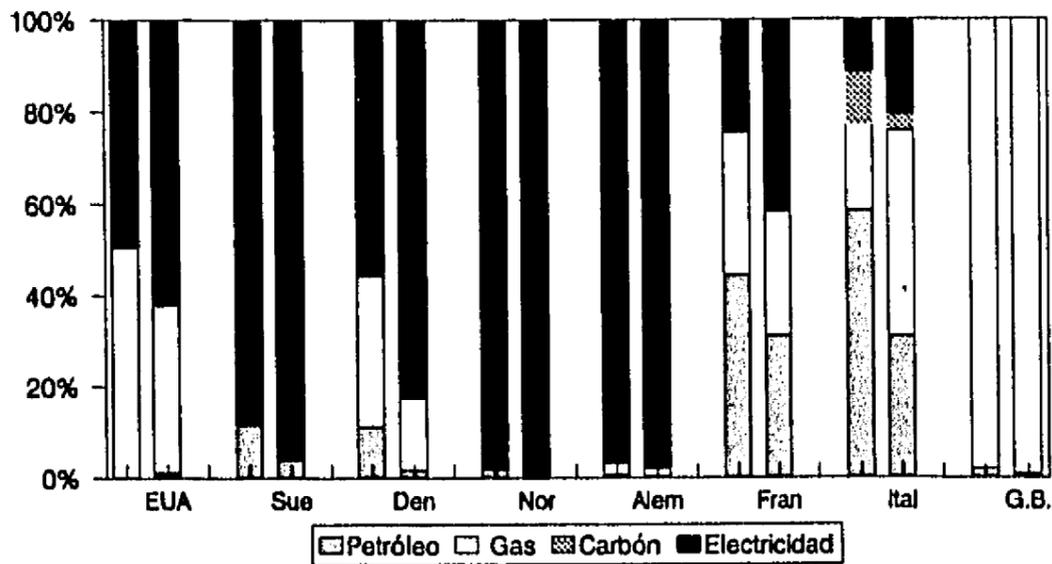


Figura 2.20

Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes descritas en Apéndice 1

### 2.3.2.3 Índices de cambio: calentamiento de agua y cocción

Debido a la dificultad que se tiene para medir la gran variedad de efectos estructurales identificados para ambos, este estudio toma solamente un elemento de cambio que es importante para ambos usos y que además es posible de medir. Este es la disminución del número de personas en el hogar. Como se explicó con anterioridad, este fenómeno hace que disminuya el consumo de energía por vivienda, pero presiona al aumento del consumo total de energía, debido al importante incremento del número de viviendas en todos los países. Ya que ambos usos se desagregan bajo el mismo factor estructural, el análisis de los índices de cambio se hará en forma conjunta.

De acuerdo con la metodología de los índices de cambio, para evaluar el cambio total en la intensidad energética para calentamiento de agua y cocción, se mantienen constantes (a su valor de 1973) los cambios estructurales. En este caso el elemento estructural mas importante es el cambio debido a la disminución del tamaño del hogar. El resultado nos indica, que de no haber sido por este cambio estructural, entre 1973 y 1990 la intensidad energética para estos usos hubiera disminuido a una tasa anual de 0.6% en Europa-4 (en vez de aumentar 0.1% anual), 1.0% en Escandinavia-3 (en vez de disminuir

0.3% anual), 1.3% en Estados Unidos (en vez de aumentar 0.1% anual) y aumentado a una tasa anual de 1.1% en Japón (en vez de 2.5% anual).

Por el contrario, si el consumo de energía por vivienda para estos usos finales hubiera sido el mismo en 1990 que en 1973, el cambio estructural hubiera provocado un aumento en el uso de la energía total de 0.4% en Europa-4, 0.5% en Escandinavia-3, 0.4% en Estados Unidos y 0.5% en Japón. Es importante resaltar el caso de Japón, ya que es el único país donde el efecto del cambio en la intensidad energética presiona más que el propio cambio estructural. Esto se debe al importante aumento en el uso de la energía por vivienda, mostrado en las Figuras 2.18 y 2.19 para calentamiento y cocción respectivamente.

### **2.3.3 Iluminación**

La iluminación representa menos del 5% del consumo de energía final para todas las regiones. El uso de energía final para este uso creció en todas las regiones, siendo Estados Unidos y Escandinavia-3 las regiones que más energía por vivienda y por unidad de área consumieron para este uso en 1973 y 1990 respectivamente.

El importante consumo de electricidad para iluminación en Escandinavia-3 se debe en gran parte a las pocas horas de iluminación natural que esta región tiene durante la mayor parte del año. Por otro lado, los bajos precios de la electricidad en Noruega y Estados Unidos marcan una diferencia importante con el resto de los países, sugiriendo a éste como un elemento que hizo que el consumo fuera mayor en estas regiones.

Algunos de los elementos estructurales que mayor influencia tienen en el consumo de energía para iluminación son el número de habitantes por hogar, el área promedio de las viviendas y la cantidad de focos por vivienda. Quizá el más importante es el aumento en el área de las viviendas. Por esta razón, la intensidad energética para iluminación se define como la energía neta por unidad de área total<sup>17</sup> (debido a que la iluminación se cubre en un 100% por electricidad, en este caso la energía neta es igual a la energía final).

---

<sup>17</sup> Área total se define como el producto del área por hogar por el número de hogares ocupados.

La Figura 2.21 muestra los cambios en la intensidad para iluminación en los nueve países. Como se observa, el comportamiento es diverso dependiendo de la región. Estados Unidos, por ejemplo, fue el único país en donde esta intensidad disminuyó a una tasa anual constante de 0.8% entre 1973 y 1985 y a una tasa ligeramente menor, de (73% anual) 1985 a 1990. Japón, a semejanza de otros usos finales, tuvo un crecimiento anual de 1.33%, 0.07% y 0.11% respectivamente entre 1973-79, 1979-85 y 1985-90. En el caso de Europa-4, la intensidad aumentó a una tasa promedio anual de 1.02%, 0.16% en los dos primeros periodos y disminuyó a una tasa de 0.33% anual en los últimos cinco años. Finalmente, Escandinavia-3 tuvo tasas de crecimiento anual de 1.56%, 0.39% y 1.38% respectivamente para los tres periodos. Tomando por separado a los nueve países, Noruega tuvo el mayor aumento en todo el periodo (27%.)

### Energía Residencial (Iluminación)

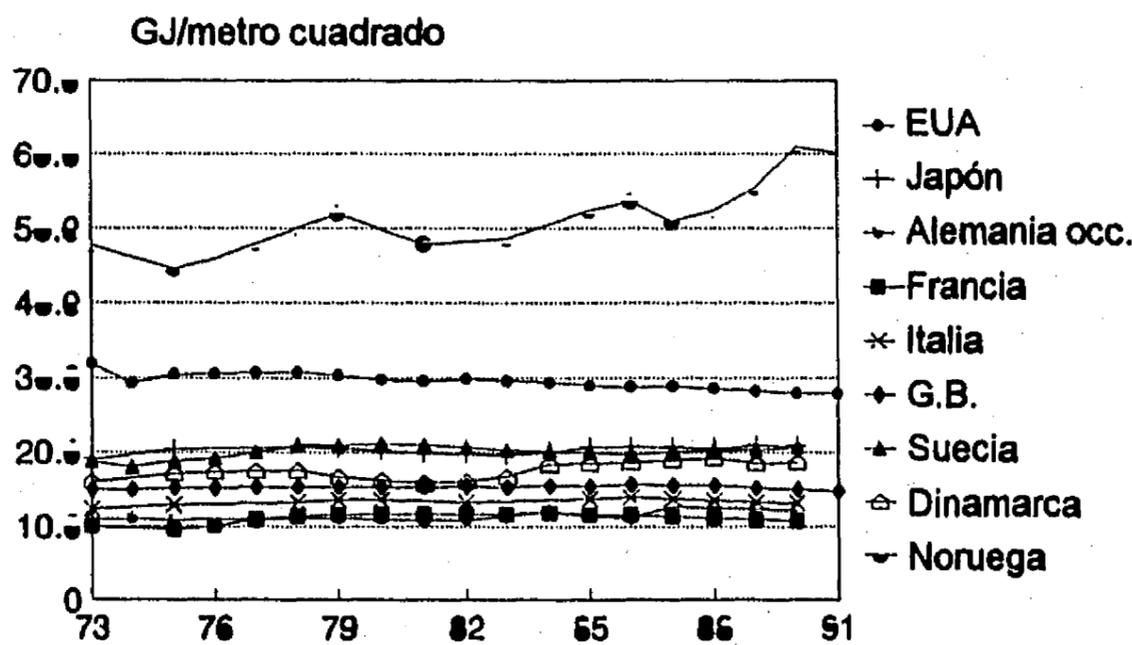


Figura 2.21

Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes descritas en Apéndice 1

La diferencia en las tendencias en las cuatro regiones hace difícil analizar patrones de comportamiento similares o factores comunes que hayan afectado a los nueve países en su conjunto. La disminución en el consumo en Estados Unidos pudo deberse a la introducción de focos más eficientes, cambios en el comportamiento (apagar luces en cuartos que no estén ocupados), y/o cambios en el tiempo de estancia en el hogar (U.S.

DOE 1987, Schipper et al. 1989). En el caso de las otras regiones, se requerirían estudios más detallados que pudieran explicar el comportamiento del consumo de energía para iluminación en los diversos periodos.

### **2.3.3.1. Índices de cambio: iluminación**

Si la superficie total se hubiese mantenido constante a su valor de 1973, el uso de energía para iluminación hubiera crecido entre 1973 y 1990 a una tasa promedio anual de 0.4%, (en vez de 2.3%) en Europa-4, de 1.1% (en vez de 2.9%) en Escandinavia-3, de 0.5% (en vez de 3.3%) en Japón y decrecido a una tasa de -0.8% (en vez de crecer a 1.3%) en Estados Unidos.

Si ahora se supone que la intensidad energética per cápita, i.e. uso de energía para iluminación por unidad de área per cápita, se hubiera mantenido constante a su valor de 1973, el uso de energía total para este uso hubiera tenido tasas de crecimiento de 1.6% para Europa-4, 1.5% en Escandinavia-3, 1.1% en Estados Unidos y 1.9% en Japón. En todos los casos, como puede observarse, la tasa de crecimiento es inclusive mayor en el consumo de energía real que en aquel en donde la intensidad energética per cápita se mantiene constante. Esto lo único que indica, es que ésta intensidad registró un aumento en todas las regiones. Es decir, factores adicionales al incremento de la superficie per cápita de la vivienda influyeron en el aumento de la energía para iluminación.

### **2.3.4 Electrodomésticos**

Este uso de la energía en el sector residencial es sin duda el de mayor crecimiento en los últimos 20 años para todos los países. Este incluye la preservación de alimentos (refrigeración y congelación), lavado y secado de ropa, lavado de platos, aire acondicionado, entretenimiento (televisión, radio, etc.) y otros usos misceláneos.

Entre 1973 y 1990, el uso per cápita de electricidad para electrodomésticos se incrementó 46% en Estados Unidos, 60.2% en Escandinavia-3, 107% en Europa-4 y 110.5% en Japón (Figura 2.22). El mayor crecimiento en el consumo para Europa-4 y Japón se debió al importante incremento en la saturación de los seis electrodomésticos

más importantes (refrigeración, congelación, lavado de platos, lavado y secado de ropa y aire acondicionado) mientras que para Escandinavia-3 y Estados Unidos donde a principios de los años setenta ya había una difusión muy grande de estos aparatos, otros electrodomésticos (que van desde hornos de microondas hasta bombas de agua para albercas) adquirieron mayor importancia en el consumo de electricidad residencial (Figura 2.23) (Meier 1992).

### Uso de energía Residencial (OCDE) Electrodomésticos

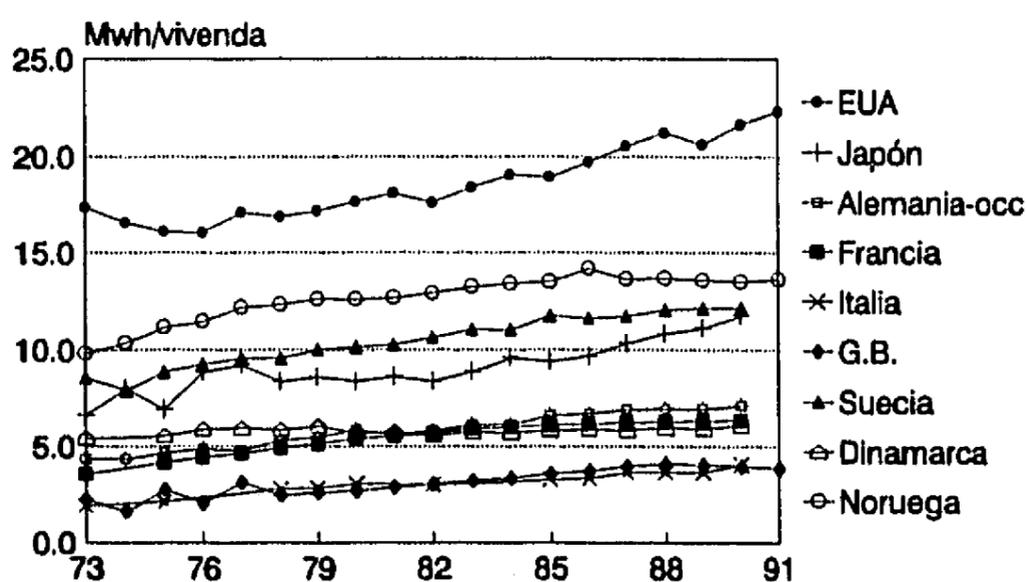


Figura 2.22

Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes descritas en Apéndice 1

Para este uso final el cambio en la intensidad del consumo de electricidad puede ser analizado directamente a través de los datos del consumo unitario de energía (CUE) por electrodoméstico. El CUE se obtiene de encuestas realizadas en los diferentes países y está definido como el consumo promedio de energía de un electrodoméstico durante un año. El valor de este indicador depende de las características técnicas de los electrodomésticos nuevos y "viejos" (que están en uso), de la tasa de renovación de éstos y de las formas de uso de los mismos. Estimaciones del cambio del CUE se presentan en la Tabla 2.5 para algunos países.

## Uso de Energía Residencial (OCDE) Electrodomésticos (1973 y 1990)

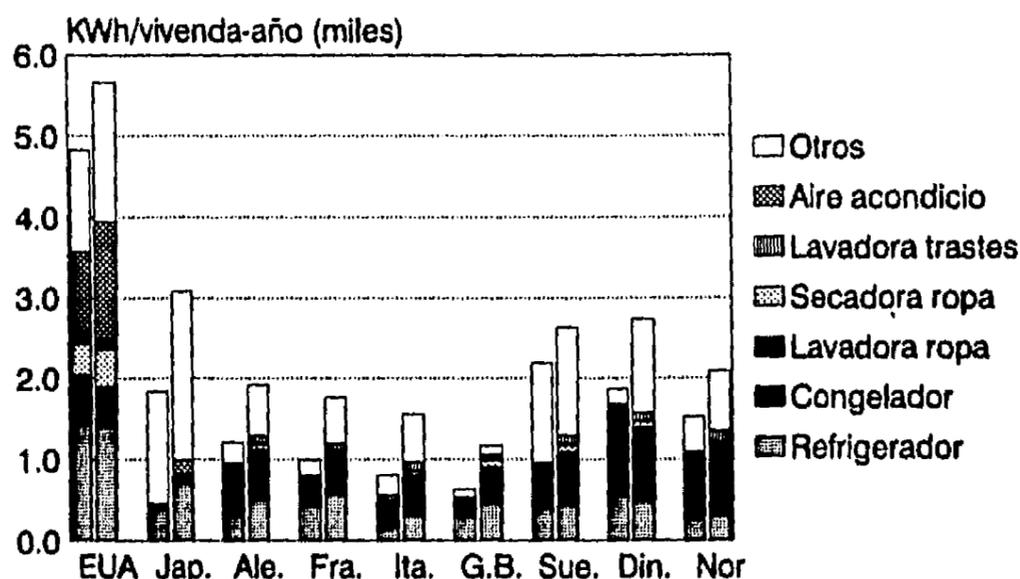


Figura 2.23

Fuente: Schipper & Hawk (1991), Compañías eléctricas de distintos países (Apéndice 1)

En todos los casos, con excepción de Japón el CUE disminuyó. La razón más importante de la caída de este indicador se debió al aumento en la eficiencia de los nuevos aparatos. Sin embargo, como lo demuestran Schipper y Hawk (1991), el incremento en el volumen y la diversificación de las características de la mayoría de los electrodomésticos opacó los cambios en la eficiencia. Este fenómeno es muy claro en el caso de Japón. En este país, por ejemplo, la eficiencia por litro en los nuevos refrigeradores aumentó en un 75%, y sin embargo el CUE fue mayor debido a que el volumen promedio de los refrigeradores creció casi al doble (Hirokikudo 1993).

En los otros países este fenómeno también se presentó. En Estados Unidos, por ejemplo, la eficiencia por litro de los refrigeradores más populares disminuyó en un 50% entre 1972 y 1984 (Meyers 1987) y sin embargo la disminución en el consumo fue mucho menor. En Europa-4 esta situación también se presentó pero fue menos importante. En Escandinavia, al igual que en los Estados Unidos, éste efecto fue importante, pero no alcanzó los niveles de Japón debido a que en 1973 los refrigeradores tenían un volumen y una saturación mucho mayor que la de los japoneses.

En los televisores sucedió un fenómeno semejante. El aumento en el tamaño, así como la introducción masiva en el mercado de televisores de color presionó en el aumento

del consumo de energía para estos aparatos, a pesar de que para cierto tamaño un televisor en 1984 era 75 veces más eficiente que en 1972 (Schipper & Hawk, 1991). En la actualidad, televisores de alta definición están penetrando en el mercado lo cual podrá presionar para que aumente el consumo de electricidad para este uso. Sin embargo, los importantes avances tecnológicos existentes podrán hacer que este mejoramiento en la tecnología no represente un aumento en el consumo de energía (IEA 1991).

Un aparato eléctrico que prácticamente no es utilizado en Europa ni Escandinavia debido al clima, pero que es común en Estados Unidos y Japón y su adquisición ha ido en aumento es el aire acondicionado. La saturación de este dispositivo pasó de 46% en 1973, a 68% en 1990 en Estados Unidos y de 16% a 34% en Japón para los mismos años. En este caso, el mejoramiento en la construcción de nuevas casas y el aumento en la eficiencia de dichos dispositivos permitió la disminución del CUE para esta tecnología.

La caída del CUE para los diferentes electrodomésticos no ocurrió en el mismo periodo para todos los países por diferentes razones. Sin embargo, es interesante que entre 1985 y 1990 este indicador cayó para todas las regiones y para los seis electrodomésticos más importantes con excepción de los refrigeradores (con congelador) en Europa-4. Así, la tasa promedio anual del CUE de los refrigeradores disminuyó 1.76% en Escandinavia-3, 1.70% en Estados Unidos, 0.29% en Japón y 0.93% en Europa-4. La razón más probable de este comportamiento es que en esta última región, la saturación de estos aparatos creció de 105% a 110%, mientras que en Estados Unidos y Japón se mantuvo prácticamente constante.

Es importante señalar<sup>18</sup> que los estándares obligatorios en California en 1988 y en todos los Estados Unidos en 1990, así como los acuerdos entre fabricantes y gobierno establecidos en Japón y Alemania han representado un importante impulso al desarrollo tecnológico y al aumento en la eficiencia de los electrodomésticos desde finales de los años ochenta. Estos acuerdos o normas, generarán aumento en la eficiencia no sólo en los países donde esto se acuerda, sino mundialmente debido a la alta internacionalización del mercado de estos bienes.

---

<sup>18</sup>Esto se presenta con mayor detalle en los capítulos 5 y 6.

### 2.3.4.1 Índices de cambio: electrodomésticos

Dos factores estructurales que influyen de manera directa en el uso de electricidad para electrodomésticos son tomados en cuenta. Uno es la disminución en el tamaño del hogar y el otro es el crecimiento en la saturación de aparatos electrodomésticos.

Si se mantienen los cambios en el número de electrodomésticos a su valor constante de 1973, se puede estimar cual hubiera sido el cambio provocado por la disminución en el CUE. Bajo estas condiciones el consumo de energía para electrodomésticos hubiera crecido 2% en Europa-4, 55% en Japón y decrecido 26% en Escandinavia-3 y 12% en Estados Unidos.

**Tabla 2.5**  
**Electrodomésticos**  
**Consumo Unitario de Energía (kwh/año)**

	1973	1980-81	1986-87	1990
<b>Refrigerador*:</b>				
Estados Unidos	1450	1385	1320	1227
Japón	395	645	618	610
Alemania-occ.	339	387	395	411
<b>Secadora de ropa:</b>				
Estados Unidos	1050	939	914	900
Japón	~355	353	350	330
Alemania-occ.	475	395	355	355
<b>Lavadora de platos:</b>				
Estados Unidos	300	207	164	165
Alemania-occ*.	800	600	310	310
<b>Lavadora de ropa:</b>				
Estados Unidos	110	110	110	103
Alemania-occ.	390	340	273	275

\*Refrigerador con congelador. Los valores altos en Alemania se deben a que las lavadoras calientan el agua que usan. Fuente: Schipper y Hawk (1991) e información mas reciente (Apéndice 1).

Por el contrario, si se mantiene constante el valor del CUE de los seis electrodomésticos más importantes a su valor de 1973, el efecto estructural se hubiera reflejado en un aumento del 48.7% en Europa-4, 24.1% en Escandinavia-3, 9.8% en Estados Unidos y 27% en Japón.

## 2.4 Índices de cambio: Análisis agregado

### 2.4.4 Estructurales

Si se agregan los índices de cambio estructurales de cada uno de los usos finales se puede observar el cambio estructural total en el consumo de energía residencial para los nueve países. La Figura 2.24 da cuenta de estos cambios. Como se observa, Europa-4 registró los mayores cambios, con 56.4%, 48.6%, 42.5% y 35.8% para Alemania occidental, Italia, Francia y Gran Bretaña respectivamente. Estados Unidos, con un aumento del 23% fue el país que menor cambio estructural registró. En el caso del Japón el aumento en este índice fue de 39% y en Escandinavia-3 de 32.4%. Para todas las regiones, con excepción del Japón, el crecimiento en el uso de la energía debido a los cambios estructurales fue más rápido en el periodo 1979-1985 (para Japón el primer periodo mostró mayor incremento).

### Uso de Energía Residencial Impacto de los cambios estructurales (Manteniendo otros factores constantes)

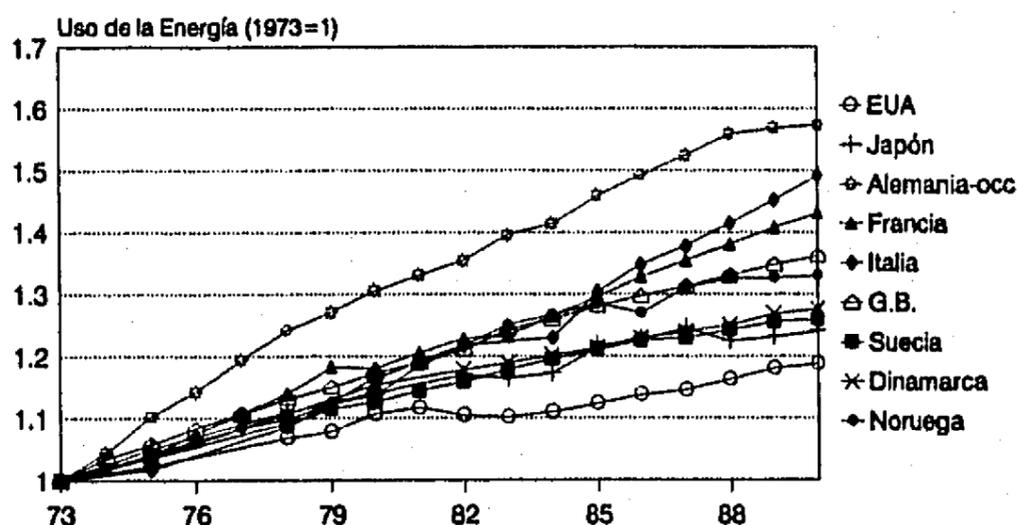


Figura 2.24

Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes descritas en Apéndice I

Es significativo que estos cambios no concuerdan con los mayores cambios en el ingreso, los cuales ocurrieron después de 1985 para la mayoría de los países. Esto sugiere una cierta saturación en el crecimiento del equipo doméstico. Esto significa que a finales de los años ochenta el incremento del ingreso en un 1% se asocia con un incremento menor en el crecimiento estructural, en comparación con aquel de los años setenta o principios de los ochenta.

#### **2.4.4.1 Estructura e Ingreso**

La Figura 2.25 muestra líneas de regresión logarítmica para cada país (con un coeficiente de regresión de las variables (R) típico de entre 0.6 y 0.7) que son indicativas de la saturación del equipo residencial. Estas líneas muestran que comparando el último periodo (1985-1990) con el anterior (1973-1985), a igual incremento del ingreso menor cambio en el uso de energía residencial (medido por el índice de cambio estructural). Esto indica que la penetración de la calefacción central y los electrodomésticos más significativos se va reduciendo conforme se acercan a la saturación de los mismos. De esta manera, el factor que impulsó el incremento del consumo de la energía residencial en el pasado, el aumento en el ingreso, parece estar reduciéndose en los países de la OCDE. Ello significa que la elasticidad ingreso-uso de energía residencial, está decreciendo.

Ciertamente los usos más importantes de la energía: calefacción, calentamiento de agua, cocción y refrigeración están virtualmente saturados en Europa y Estados Unidos. Sin embargo, el factor ingreso seguirá teniendo influencia en el consumo de energía residencial, aunque a menor intensidad, pues mayores ingresos no sólo significan adquisición de los aparatos domésticos más importantes en el consumo de una vivienda, sino incremento en el tamaño de los televisores o los refrigeradores, o la adquisición de electrodomésticos que todavía no alcanzan la saturación como es el caso de las secadoras de ropa. Otros usos relacionados con comunicaciones y electrónica tienen un consumo de energía tan pequeño que no parecen tener gran importancia<sup>19</sup>.

La otra componente en el cambio estructural que ha tenido impacto en el incremento del consumo de energía residencial durante todo el periodo es el decremento en el tamaño del hogar (habitantes por vivienda). Su influencia también está considerada

---

<sup>19</sup> Schipper, Bartellett, Hawk y Vine (1989) estiman, sin embargo, que el consumo de energía residencial para los jubilados es ligeramente mayor que para las personas activas, así que el envejecimiento gradual de las poblaciones en estos países puede ser un factor estructural adicional importante en el incremento de la demanda de la energía en este sector.

en la Figura 2.25. Sin embargo, este importante indicador también está reduciendo su influencia. En todas las regiones, con excepción de Japón, el tamaño del hogar se redujo más en los primeros periodos que en el último. El decremento de la tasa de cambio anual de esta indicador fue respectivamente para los periodos 1973-1979, 1979-1985 y 1985-1990 de 1.18%, 0.97%, 0.48% para Europa-4, de 1.05%, 0.93%, 0.77% para Escandinavia-3, de 1.04%, 0.69%, 0.55% para Estados Unidos y de 1.12%, 0.8% y y 1.18% para Japón.

### Uso de Energía Residencial (OCDE)

#### Impacto de los cambios estructurales (Manteniendo otros factores constantes)

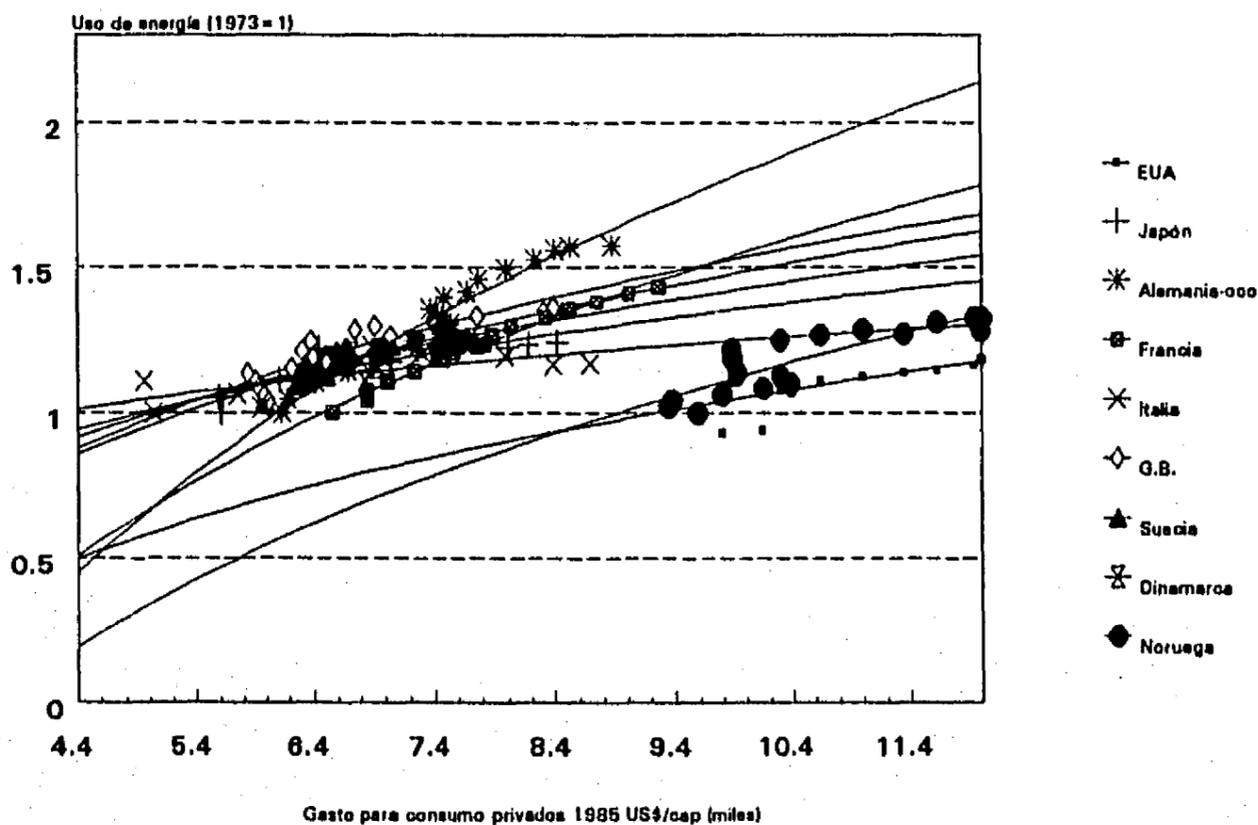


Figura 2.25

Líneas de regresión logarítmica

El aumento del ingreso es un elemento adicional que estimula la adquisición de nuevas viviendas. Esto influye hacia el incremento de la intensidad energética para calefacción, ya que las nuevas viviendas son más eficientes que las construidas en periodos anteriores.

## 2.4.1 Intensidad

Utilizando el análisis de los índices de cambio para cada uno de los usos finales se puede trazar la evolución de la intensidad energética del consumo de energía residencial para los nueve países en estudio. La Figura 2.26 muestra el desarrollo de la intensidad energética para todos los países haciendo el valor de la intensidad en 1973 igual a la unidad. Dinamarca muestra los mayores ahorros seguido por un grupo de países que incluyen a los Estados Unidos, Alemania occidental, Francia y Suecia. Noruega y Japón no muestran ningún decremento debido al importante aumento que tuvieron en calefacción y electrodomésticos respectivamente.

### Uso de Energía Residencial (OCDE) Impacto en los cambios de intensidad Energía final

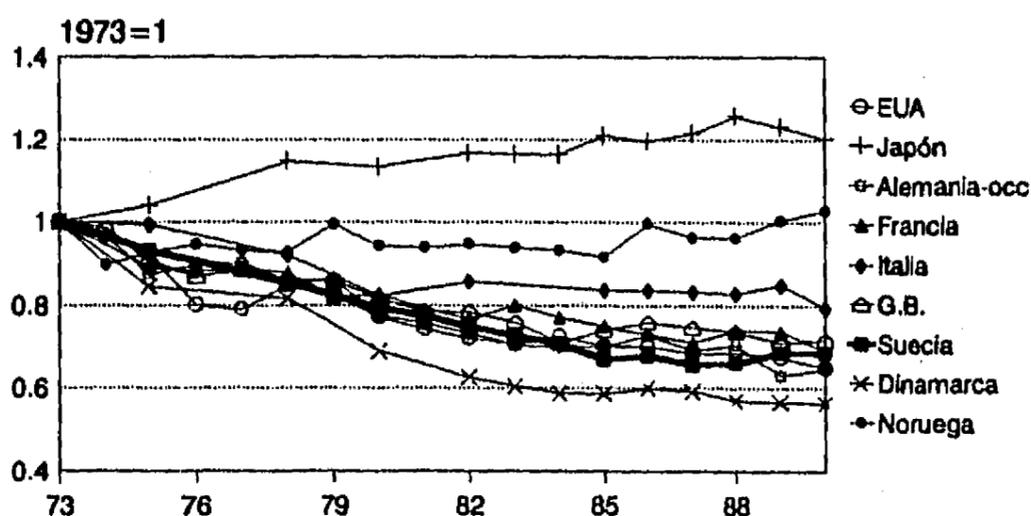


Figura 2.26

### 2.4.1.1 Intensidad y precio

Los precios de la energía tuvieron un profundo impacto en las intensidades energéticas del sector residencial, reduciendo el uso de la energía en los dos primeros periodos y permitiendo una disminución en ese decremento entre 1985 y 1990. Las rápidas reducciones en el uso de la energía para calefacción entre 1973-75 y 1979-1981 fueron claramente un producto de los altos precios de la energía, de la misma manera que el ligero aumento registrado en 1986 fue claramente producto de la caída en los precios. La Figura 2.27 muestra la tasa de cambio anual de los precios de la energía (pesados por

el consumo) en los tres periodos, mientras que la Figura 2.28 muestra el mismo indicador pero para la intensidad energética. En general, los precios cayeron después de 1985 y las intensidades repuntaron o muestran sus menores decrementos.

### Cambios en el Precio de la Energía (OCDE) en el sector residencial

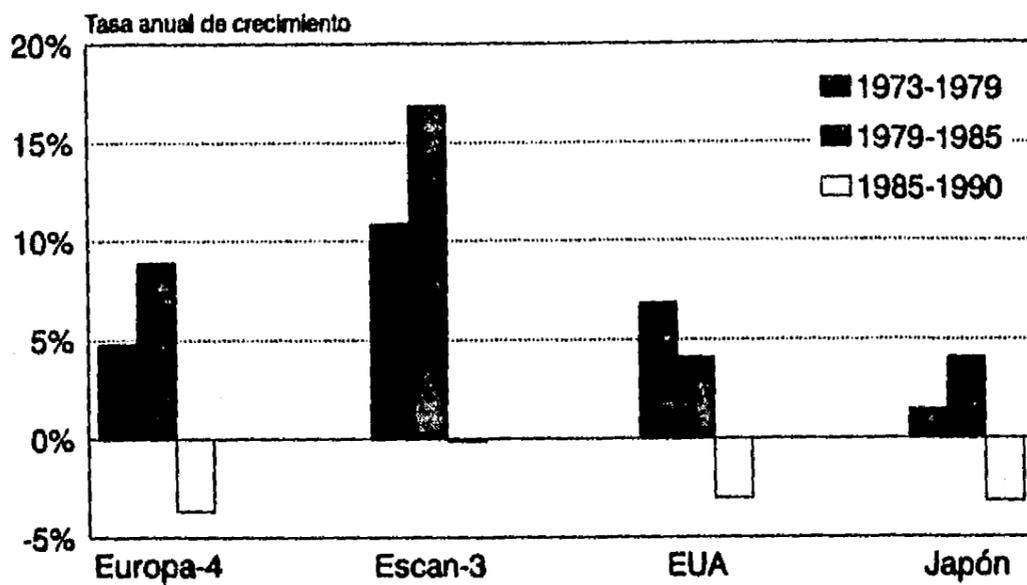


Figura 2.27

### Uso de Energía Residencial (OCDE) Impacto de los cambios en la intensidad (Manteniendo otros factores constantes)

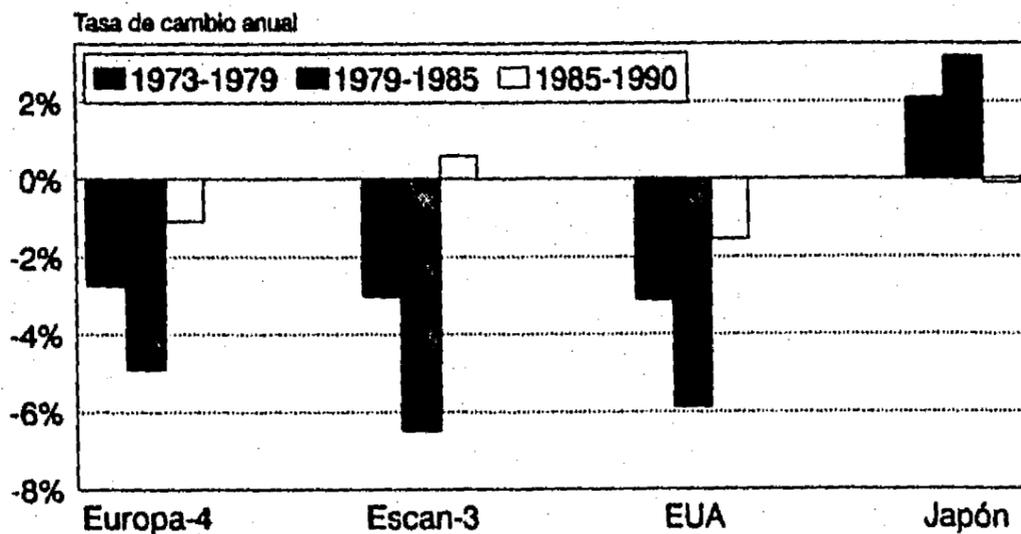


Figura 2.28

Para ilustrar mas detalladamente el impacto de los precios de la energía, se grafican las intensidades energéticas de cada país (manteniendo la estructura constante), contra el precio real de la energía con líneas de regresión (con  $R=0.55- 0.7$ ) (Figura 2.29). La gráfica sugiere una sensibilidad moderada entre las intensidades energéticas y los precios de la energía.

## Uso de Energía Residencial (OCDE)

### Intensidad energética y precio

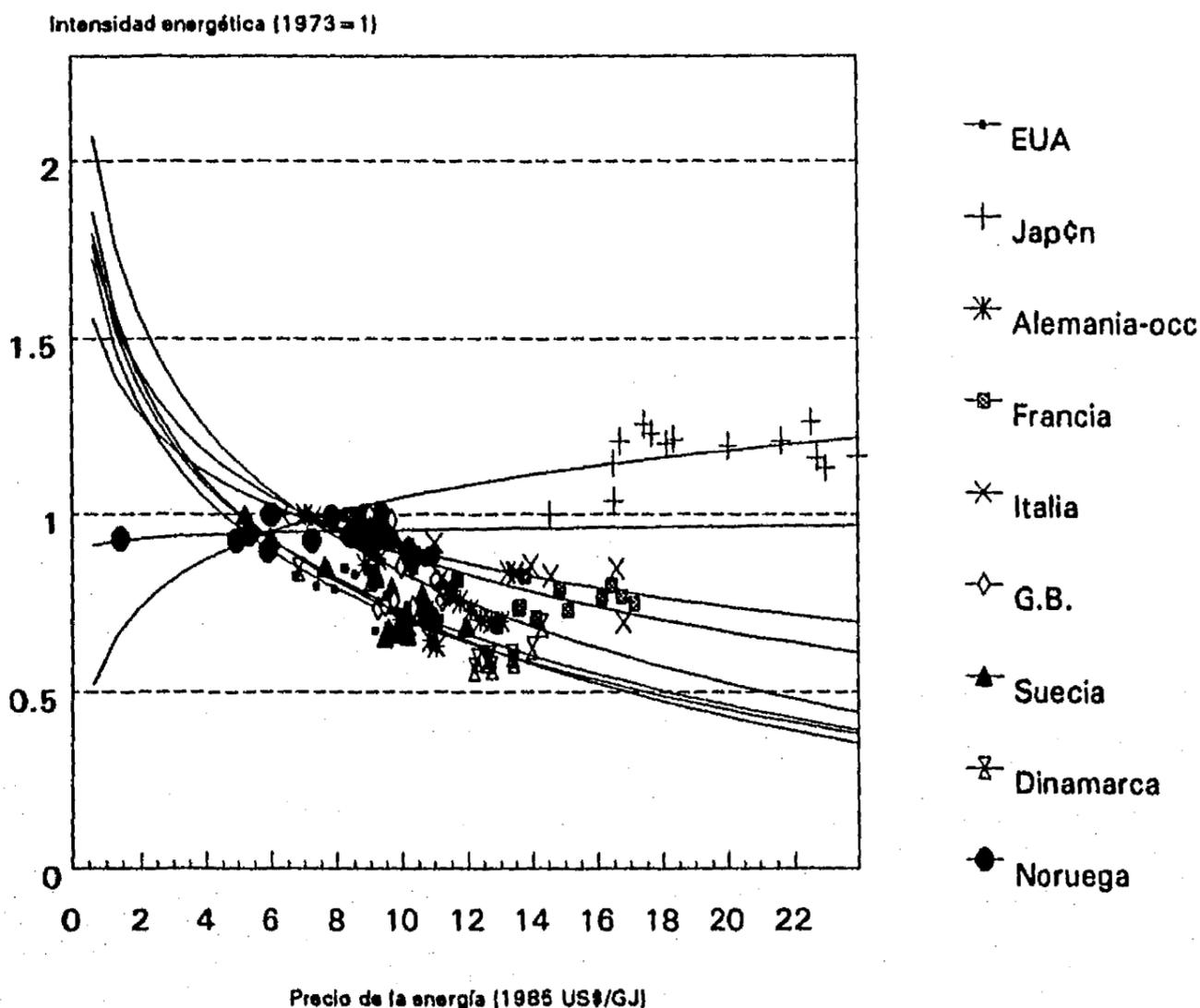


Figura 2.29

Líneas de regresión logarítmica

La reducción en las intensidades energéticas y la caída de los precios de la energía en 1985 ha provocado que los consumidores paguen menos por los servicios energéticos

en 1990, que lo que pagaban en años anteriores. Este fenómeno se puede analizar más detalladamente combinando el precio pesado de la energía con el índice de intensidad agregado. Esto se muestra para el uso final de calefacción para cada país en la Figura 2.30 y para todo el consumo residencial en la Figura 2.31.

Estas figuras muestran que los habitantes de Gran Bretaña y Alemania occidental pagaron en promedio menos por unidad de calefacción en 1990 que en 1973, que aquellos en Francia y en Estados Unidos pagaron cerca de lo mismo, mientras que en Dinamarca, Noruega, Suecia e Italia pagaron considerablemente más. El alto costo en Noruega y Suecia se explica por el incremento del uso de la electricidad para calefacción, mientras que en Dinamarca e Italia se explica por el aumento en el precio de los energéticos utilizados para calefacción. Así mismo, de estas figuras se puede desprender que los consumidores en la mayoría de los países no vieron en el precio de la energía un incentivo para disminuir el consumo, lo que explica en gran parte el estancamiento en la disminución de la intensidad energética después de 1985<sup>20</sup>.

---

<sup>20</sup>Se requiere un análisis más detallado de la distribución del ingreso de cada país, para confirmar esta suposición.

## Uso de Energía Residencial para calefacción (OCDE)

Producto de los cambios de intensidad y precio

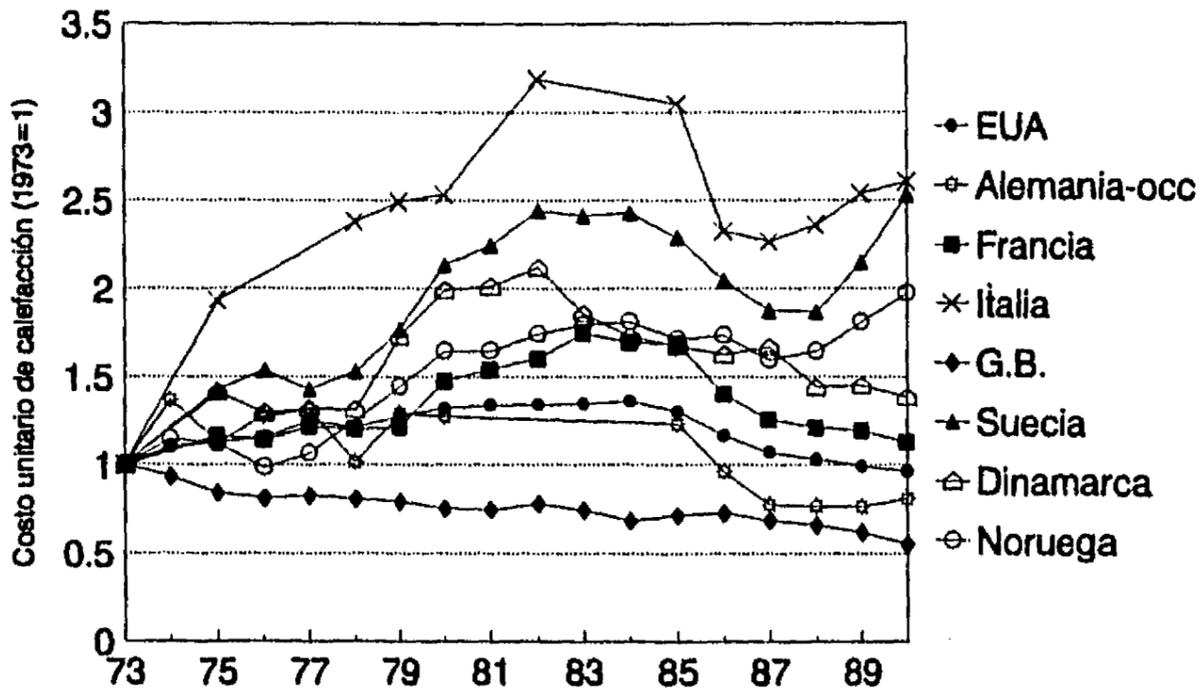


Figura 2.30

## Uso de energía residencial (OCDE)

Producto de los cambios de intensidad y precio

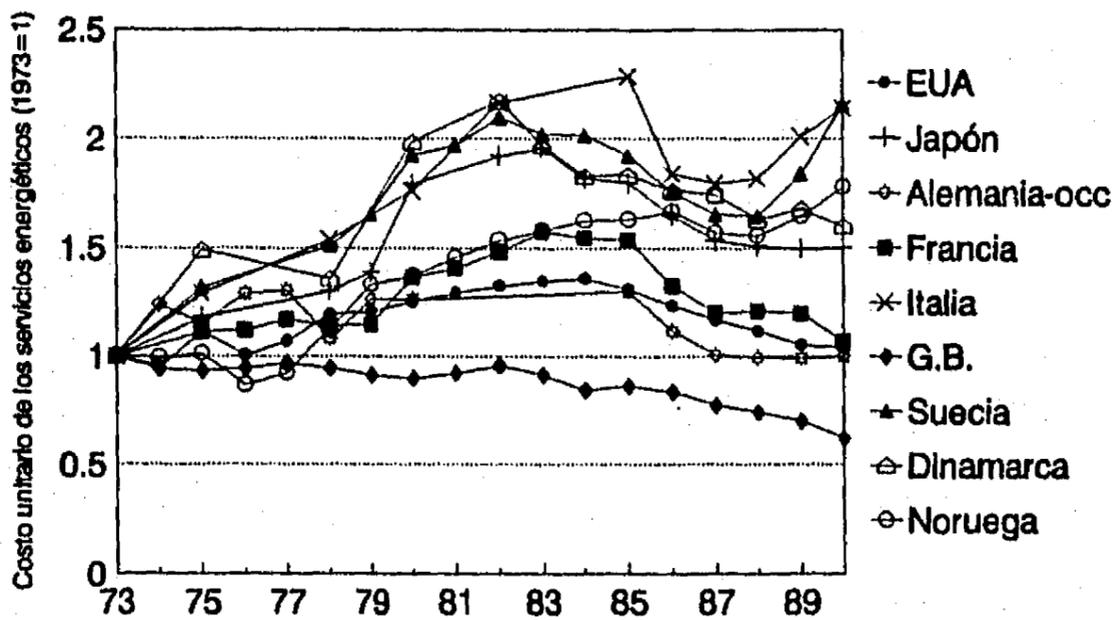


Figura 2.31

## Capítulo 3

### Análisis econométrico del consumo de energía residencial en los países de la OCDE

En este capítulo se desarrolla un análisis econométrico para cuantificar la importancia de algunas variables económicas y estructurales en la demanda de energía residencial en las cuatro regiones de la OCDE durante el periodo 1973-1990. Los objetivos principales de ese apartado son: (a) la estimación de la elasticidad demanda-precio de la energía de largo plazo y (b) la estimación de las elasticidades de la demanda de energía respecto al gasto privado per cápita y al tamaño de los hogares (personas por vivienda).

De acuerdo con Donnelli (1987), la demanda final de energía está dada por una relación de tipo exponencial entre ésta y el precio de las distintas energías finales, los niveles de ingreso, el tamaño de la población, las preferencias del consumidor, las condiciones climáticas, etc. En términos formales, para una forma de energía final como podría ser la electricidad, la demanda puede ser expresada de la siguiente manera (Donatos & Mergos 1991):

$$\text{Elect} (t) = C (P_t)^{A_1} (I_t)^{A_2} (X_t)^{A_3} \quad (3.1)$$

donde **Elect (t)** es la cantidad de electricidad consumida en el año **t**, "**C**" es una constante, "**P**" es el precio de la electricidad en el año **t**, "**I**" es el ingreso promedio de la población en

el año  $t$ , " $X$ " expresa la suma de diversas variables estructurales o físicas y " $A_n$ " son las elasticidades.

Para conocer los valores de las elasticidades, se simplifica la ecuación (3.1) y se obtiene una relación lineal entre la variable " $\ln \text{Elect}(t)$ " y los logaritmos naturales de las variables dependientes, es decir:

$$\ln \text{Elect}(t) = A_0 + A_1 \ln P_t + A_2 \ln I_t + A_3 \ln X_t \quad (3.2)$$

donde  $A_0 = \ln C$

El método estadístico clásico utilizado por la econometría para resolver el valor de las elasticidades " $A_n$ ", de la ecuación (3.2) es el de mínimos cuadrados ordinarios, que consiste en calcular la mejor recta tendencial en un conjunto de datos observados, minimizando el cuadrado de la desviación de la distancia entre los datos empíricos y la línea (Hoel 1975).

Al calcular las " $A_n$ " se trata de encontrar la mejor recta tendencial, sin embargo existen errores estadísticos de perturbación que hacen que la determinación de la variable " $\ln \text{Elect}(t)$ " no sea exacta. Por esta razón la ecuación (3.2) debe ser reescrita como (Chem 1978):

$$\ln \text{Elect}(t) = A_0 + A_1 \ln P_t + A_2 \ln I_t + A_3 \ln X_t + e \quad (3.3)$$

donde " $e$ " es el término de perturbación o error estadístico.

La validez del resultado obtenido con el método clásico, se determina por medio de pruebas estadísticas que descubren posibles errores en la obtención de las elasticidades. Algunos ejemplos de errores son los de autorregresión o multicolinealidad (Pokorny 1987). En la actualidad existen diversos métodos alternativos al de mínimos cuadrados ordinarios que permiten disminuir los errores de cálculo, tales como mínimos cuadrados generalizados o el método de autorregresión (Freund & Littell 1991).

### 3.1 Especificación del modelo econométrico

De acuerdo con Chem et al., (1983) la demanda de energía residencial puede ser expresada por

Una ecuación de demanda agregada similar a la ecuación (3.3)

$$\ln E_{it} = A_0 + A_1 \ln P_{it} + A_2 \ln I_{it} + A_3 X + e_t \quad (3.4)$$

y un conjunto de ecuaciones para cada energía final determinadas por:

$$\ln (M_{jit}/M_{kit}) = A_{j1} + A_{j2} \ln (P_{jit}/P_{kit}) + A_{j3} \ln I_{it} + A_{j5} \ln X \quad (3.5)$$

donde:

- A: parámetros a determinar: elasticidades
- P: precio promedio
- I: ingreso
- e: término de perturbación
- X: otras variables
- M<sub>k</sub>: porcentaje del combustible k en el mercado.
- M<sub>j</sub>: es el porcentaje del combustible j en el mercado
- i: país
- t: año

Como en este trabajo sólo interesa modelar la demanda agregada de energía residencial y no las elasticidades de cada tipo de energía final, se utiliza la ecuación (3.4) sin las ecuaciones específicas para cada tipo de energía final y se construye una variable agregada del precio "P", que expresa el precio promedio de las distintas energías finales, pesado por el consumo de cada energía final (a excepción de la leña<sup>21</sup>), es decir:

$$P_t = \frac{(PE_t E_t + PG_t G_t + PO_t O_t + PCD_t CD_t + PC_t C_t)}{(E_t + G_t + O_t + CD_t + C_t)}$$

<sup>21</sup>Debido a la dificultad para obtener los datos del precio de la leña, se omite este energético en el análisis econométrico.

donde:

**E:** Electricidad ( $PE_t$  precio de la electricidad y E consumo)  
**G:** Gas Natural  
**O:** Derivados del petróleo  
**CD:** Calefacción distrital  
**C:** Carbón  
**t:** tiempo (año)  
**P:** Precio

La variable dependiente se define entonces como la energía final per cápita y las variables dependientes consideradas son el gasto privado per cápita (GP) (en dólares de 1985), el precio real de la energía (P) (en dólares de 1985), tamaño del hogar (TH) y superficie de la vivienda (S).

### 3.2 Resultados

En el cálculo de las regresiones para las cuatro regiones, se encontró una importante correlación (entre  $r = 0.7$  y  $r = 0.8$ )<sup>22</sup> entre la variable GP y S por lo que se decidió omitir S. En algunos otros casos, como se verá mas adelante, también se encontró correlación entre GP y TH. Por otro lado en el análisis de Estados Unidos y Escandinavia se encontró autocorrelación de primer orden por lo que se utilizó el método de mínimos cuadrados generalizados con autorregresión para el cálculo de las elasticidades, el cual es explicado en el apéndice II.

Las tablas 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 muestran los resultados de los cálculos para Estados Unidos, Japón, Europa-4 y Escandinavia-3 respectivamente.

---

<sup>22</sup>Se utiliza la letra "r" para denotar la correlación entre dos variables. La letra "R" denota el resultado de la regresión para todas las variables.

**Tabla 3.1**  
**Consumo de Energía Residencial en Estados Unidos (1973-1990)**  
**Análisis econométrico**  
**Estimación de las elasticidades**

Estimación	C	P	GP	TH	A(1)	R reg	R total	Error
1	12.57 (2.12)	-1.16 (-6.66)	-0.234 (-0.46)	3.9 (-3.68)	0.236 (-2.2)	0.984	0.993	0.005
2	-4.33 (0.69)		1.13 (2.08)	-2.31 (-1.87)	-0.825 (-5.27)	0.961	0.989	0.007
3	-10.88 (-4.3)	-0.74 (-2.8)	1.67 (8.49)		-0.77 (-4.62)	0.967	0.995	0.006

Método de autorregresión (estimación de Yule-Walker)

El valor entre paréntesis es la "t"

P: precio de la energía.

GP: gasto privado

TH: tamaño del hogar

A(1): variable retrasada de primer orden

C: constante

Como se puede observar en el caso de Estados Unidos, la mejor estimación se obtiene cuando se utilizan las variables precio (P) y gasto privado (GP). Las dos variables resultan ser significativas, además de la variable retrasada de primer orden (A(1)). En este caso la elasticidad GP (1.6) (similar a la elasticidad del ingreso) es mucho mayor en términos absolutos que la elasticidad del precio (-0.7) lo que indica que la variable GP fue mucho más importante en la evolución del consumo de la energía residencial que la variable P. El que la variable TH no resultara significativa en el análisis corresponde a la importante correlación entre TH y GP ( $r=0.7$ ).

En el caso del Japón (Tabla 3.2), la mejor regresión resulta ser la ordinaria (mínimos cuadrados) ya que la variable retrasada de primer orden (A(1)) no es significativa ( $t=0.24$ ) esto significa que no existe autocorrelación y por lo tanto el modelo se calcula con el método clásico de mínimos cuadrados ordinarios. En esta estimación el precio de la energía resulta ser poco significativo ( $t=1.3$ ) y la variable GP es definitiva en la tendencia del uso de la energía residencial.

**Tabla 3.2**  
**Consumo de Energía Residencial en Japón (1973-1990)**  
**Análisis econométrico**  
**Estimación de las elasticidades**

Estimación	C	P	GP	TH	A(1)	R reg	R total	Error
1	4.3 (1.2)	-0.06 (-1.09)	0.147 (0.547)	-2.458 (-3.16)	-0.68 (-0.24)	0.944	0.954	.001
2*	-5.52 (-6.07)	-0.09 (-1.35)	0.928 (10.34)			0.944	0.944	.0007

\* En este caso no se encontró autocorrelación ( $dw=2$ ). Estimación con mínimos cuadrados ordinarios.

Método de autorregresión (estimación de Yule-Walker)

El valor entre paréntesis es la "t"

P: precio de la energía.

GP: gasto privado

TH: tamaño del hogar

A(1): variable retrasada de primer orden

C: constante

En el caso de Europa-4 se encuentra una autocorrelación muy pequeña, por lo que la variable retrasada no resulta ser significativa. De acuerdo con Kennedy (1985), en estos casos las elasticidades del cálculo de mínimos cuadrados pueden ser tomadas como válidas, pero la ecuación agregada debe ser tomada con reservas. Como en este análisis sólo interesa conocer el valor estimado de las elasticidades puede considerarse que la aproximación es válida.

Una vez más se encuentra una importante correlación entre TH y GP ( $r=0.7$ ), por lo que debe omitirse una de las dos. Cuando el análisis se limita a las variables GP y P, las dos variables resultan tener una elasticidad semejante (0.2).

Finalmente, para Escandinavia-3 el cálculo de la regresión con las tres variables dependientes arroja una autocorrelación muy baja ( $dw=2.1$ ) y las tres variables resultan ser significativas. Sin embargo, el signo de la variable TH es positivo, lo cual es contradictorio ya que a mayor número de personas en el hogar, el consumo per cápita de energía debería ser menor y no mayor. Por esta razón se decidió calcular la regresión únicamente con las variables dependientes P y GP. En esta segunda estimación la variable retrasada es significativa ( $t=1.9$ ) y una vez más la variable GP resulta ser más importante en la evolución del consumo de energía que la variable P. Sin embargo a diferencia de Estados Unidos y Japón, en Escandinavia-3 las elasticidades P y GP no son tan distintas.

**Tabla 3.3**  
**Consumo de Energía Residencial en Europa-4 (1973-1990)**  
**Análisis econométrico**  
**Estimación de las elasticidades**

Estimación	C	P	GP	TH	A(1)	R reg	R total	Error
1*	8.8 (2.8)	-0.33 (-4.96)	-0.348 (-1.338)	-1.63 (-2.17)		0.713	0.713	0.003
2*	2.04 (4.87)	-0.216 (-4.82)	0.207 (3.815)			0.612	0.616	0.004

\* En este caso se encontró autocorrelación muy pequeña ( $dw=2.1$  en el primer caso y  $dw=1.8$  en el segundo). Estimación con mínimos cuadrados ordinarios.

El valor entre paréntesis es la "t"

P: precio de la energía.

GP: gasto privado

TH: tamaño del hogar

A(1): variable retrasada de primer orden

C: constante

**Tabla 3.4**  
**Consumo de Energía Residencial en Escandinavia-3 (1973-1990)**  
**Análisis econométrico**  
**Estimación de las elasticidades**

Estimación	C	P	GP	TH	A(1)	R reg	R total	Error
1*	0.56 (1.2)	-0.11 (-3.69)	0.321 (5.29)	0.601 (4.56)		0.941	0.941	0.0005
2	-0.73 (-1.05)	-0.231 (-7.05)	0.557 (7.11)		-0.43 (-1.9)	0.876	0.891	0.001

\* En este caso se encontró autocorrelación muy pequeña ( $dw=2.1$ ). Estimación con mínimos cuadrados ordinarios. Ver tabla 3.3 para especificaciones de las variables.

Como conclusión puede afirmarse que:

(a) La elasticidad energía-gasto privado (GP) es la más importante en términos absolutos en las cuatro regiones. Este resultado significa que el aumento en el ingreso per cápita y por tanto en el GP, ha sido una variable decisiva en el aumento del uso de la energía per cápita residencial para los países de la OCDE.

(b) Existe una alta correlación entre el GP y dos variables estructurales analizadas en este ejercicio: tamaño del hogar y superficie de la vivienda. Esto significa que el aumento en el ingreso per cápita promovió el incremento en el área de las viviendas y la disminución del número de habitantes en el hogar. La consecuencia de este fenómeno (aumento en el gasto privado-incremento en el área de la vivienda-disminución en el tamaño del hogar) fue una presión en el aumento del uso de la energía per cápita. Esta conclusión concuerda con el análisis por usos finales del capítulo anterior, en relación a la importancia de las variables estructurales como presión para el aumento en el uso de la energía residencial, particularmente en Japón y Europa-4.

(c) La elasticidad energía-precio (P) resulta ser más significativa en Europa-4 y Escandinavia-3 como era de esperarse, ya que en estas regiones es donde ha sido mayor el precio de la energía y por lo tanto existe una mayor influencia en la demanda de energía.

(d) La variable retrasada de primer orden no resultó ser significativa para el caso de Japón y Europa-4, lo cual implica que en estas regiones la demanda de energía del año anterior tiene poca influencia sobre la demanda de energía del siguiente año. Esto puede ser explicado porque estas son las regiones donde la variable GP tiene mayor significación. Como se mencionó anteriormente, GP representa a las variables estructurales, debido a la alta correlación positiva que existe entre el gasto privado, el ingreso, la superficie de las viviendas y la saturación de aparatos domésticos. Es factible, entonces, suponer que al haber un cambio importante de un año a otro de las variables estructurales (aparición de calefacción central, mayor número de electrodomésticos, aumento en la superficie de los hogares), la influencia de la demanda del año anterior sea poca en la del año siguiente. Por ejemplo, poco tendrá que influir el consumo de energía para calefacción entre un año y otro, si este se realiza con calentadores por cuarto durante el año  $t$ , y con calefacción central en el año  $t+1$ . Para corroborar esta hipótesis, sería importante agregar algunas otras variables estructurales independientes al modelo.

## Capítulo 4

### Emisiones de los principales contaminantes y gases invernadero debidas al uso de energía residencial en los países de la OCDE<sup>23</sup>.

La producción y uso de la energía es responsable de una parte importante de la contaminación ambiental y de la emisión de gases invernadero. Contaminantes y gases invernadero como los óxidos de carbono (CO y CO<sub>2</sub>), los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), el bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) (principal causante de la lluvia ácida), los hidrocarburos (HC) y las partículas, son generadas en el proceso de producción y uso de la energía (U.S. EPA 1990). Asimismo, cerca del 57% de las emisiones antropogénicas de los gases invernadero<sup>24</sup> provienen de la combustión de petróleo, carbón y gas. La Tabla 4.1 muestra los principales contaminantes atmosféricos, sus causas y efectos en la salud.

En este capítulo se presentan los resultados del cálculo de las emisiones de CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, generadas en la producción y uso de la energía residencial en los países de la OCDE. Para este último, se exponen también las intensidades e índices de cambio estructurales, de intensidad, de configuración de fuentes finales y de la producción de electricidad (la metodología de análisis para el cálculo de los índices de cambio se describe en el capítulo 2). La importancia del CO<sub>2</sub> radica en que es el principal gas emitido en el proceso de combustión y representa el 61% de la contribución actual que los gases invernadero tienen en la atmósfera ("radiative forcing")<sup>25</sup> (Schneider 1989).

---

<sup>23</sup>Una parte importante de este trabajo está basado en Sheinbaum, Schipper (1993).

<sup>24</sup>Que tienen la propiedad de impedir que la radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre salga al espacio exterior.

<sup>25</sup>Cuando el clima está en equilibrio, existe un balance entre la energía solar absorbida y la energía emitida por la tierra hacia el espacio. Cualquier factor que perturbe este balance se denomina un agente de fuerza de radiación. "Radiative forcing" se refiere al porcentaje actual que los gases invernadero tienen en la atmósfera. Es decir que el 61% del cambio esperado (o anticipado) de temperatura es atribuido a las emisiones de CO<sub>2</sub> que actualmente existen en la atmósfera.

En este estudio no se calculan las emisiones de hidrocarburos ni partículas debido a que éstas dependen, en mayor medida de las tecnologías que se utilizan para el uso de la energía, de las condiciones ambientales y de las características del combustible. Esto hace difícil definir un coeficiente de emisión por fuente (Radian 1990).

**Tabla 4.1**  
**Contaminantes, fuentes y efectos en la salud**

CONTAMINANTE	FUENTES ANTROPOGÉNICAS	EFFECTOS EN LA SALUD
Monóxido de carbono (CO)	Combustión de combustibles fósiles y motores de gasolina	Reduce suministro de oxígeno provocando falta de energía, dificultades para respirar, náusea, falta de sensibilidad y coordinación motora. También actúa como gas invernadero.
Óxidos de azufre (SOx)	Combustión de fuentes estacionarias, emisiones de procesos industriales, refineries de petróleo, combustión de algunos hidrocarburos	Irritación de las conjuntivas y mucosas, afecta funcionamiento pulmonar. Efectos cancerígenos. Principal productor de la lluvia ácida.
Óxidos de Nitrógeno (NOx)	Combustión de hidrocarburos, refineries. Combinado con hidrocarburos y luz ultravioleta forma esmog fotoquímico.	Irritación de mucosas y afecta funcionamiento pulmonar. Actúa como gas invernadero.
Hidrocarburos (HC)	Combustible desperdiciado o no quemado. Refineries, plantas termoeléctricas. Combinado con NOx y luz ultravioleta forma el esmog fotoquímico.	Efectos cancerígenos.
Partículas (PST)	Agrupación a un conjunto de contaminantes no gaseosos clasificados como polvos, humos, brumas, aerosoles, plomo y microorganismos. Fuentes varias.	Depende del tipo de partícula. Pero sus efectos van desde enfermedades respiratorias hasta efectos cancerígenos.
Bióxido de carbono (CO2)	Combustión de combustibles fósiles.	Su efecto en la salud es secundario. Principal gas en el fenómeno llamado efecto invernadero.

Fuente: Jiménez (1991), Selman (1992) y U.S. EPA (1992).

Como se menciona en el capítulo 2, el uso de la energía puede ser analizado en tres niveles: neta, final y primaria. La energía final es la medida de cuanta energía es utilizada directamente para cumplir con una tarea o proveer un servicio. La energía neta representa la energía final menos las pérdidas por combustión y la energía primaria es la suma de la

energía final más las pérdidas ocurridas en el proceso de generación, transformación y distribución de la misma. Un cuarto nivel de análisis son las emisiones producidas por el uso, producción y distribución de la energía. Esto permite relacionar el uso de la energía con sus efectos ambientales.

Para poder calcular las emisiones de los principales contaminantes y gases invernadero se utilizan coeficientes de emisión para cada combustible fósil (carbón, petróleo y gas natural). En el caso de la electricidad y la calefacción distrital, se calculan las emisiones producidas por el uso de la energía primaria (se consideran las pérdidas en la generación y distribución), utilizando los mismos coeficientes y la composición total de la producción de estas formas de energía (i.e. no se toman en cuenta curvas de carga). Las emisiones de CO producidas por la combustión de leña son consideradas por separado. En el caso del CO<sub>2</sub>, se considera un uso renovable y por lo tanto el coeficiente de emisión es cero (Marland 1982). Debido a que cada combustible tiene un coeficiente de emisión distinto al de los demás, el cambio en la configuración por fuentes energéticas tiene implicaciones en la emisiones producidas.

La estimación de la energía primaria se calcula suponiendo una pérdida constante para todo el periodo de 70% en la generación y distribución de electricidad y del 30% en la generación y distribución de la calefacción distrital<sup>26</sup>.

#### **4.1 Emisiones de CO, NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>.**

Las Tablas 4.2 y 4.3 muestran los coeficientes de emisión de cada uno de estos contaminantes debidos al uso directo y al de la energía eléctrica para 1973 y 1990 respectivamente. En la Tabla 4.4 se especifica la configuración por fuentes de energía primaria en la producción de electricidad. Los resultados de las emisiones por usos finales de los distintos contaminantes se presentan de la Figuras 4.1 a la 4.4. La primera se refiere a las emisiones de CO per cápita para 1973 y 1990. Como puede observarse solamente en Francia, Suecia, Noruega y Gran Bretaña se registró una disminución notable de las emisión de este contaminante. En los tres primeros países, lo anterior se debió a la caída

---

<sup>26</sup>La información acerca de las fuentes de generación de electricidad se toma de los balances de energía de la IEA. Para el calor distrital los datos fueron obtenidos de los balances de energía de cada país donde esta fuente es importante. (Dinamarca, Suecia y Alemania occidental)

de la participación del petróleo y del carbón y el aumento de la energía nuclear en la generación de energía eléctrica (Francia y Suecia) y de la hidroelectricidad (Noruega). En Gran Bretaña este cambio fue producto de la disminución de la electricidad a favor del gas, en el uso final de la energía.

La Figura 4.2 muestra las emisiones de CO generadas en la combustión de la leña para aquellos países donde este energético sigue siendo importante. En todos los casos se asume que la leña fue utilizada en chimeneas, lo cual puede subestimar las emisiones debido a que el uso de estufas de leña, muy común en los países de la OCDE, tiene un coeficiente de emisión mayor (OECD 1991).

Debido a que el coeficiente de emisión de CO de la leña es muy alto (más de 300% mayor al de los otros combustibles) las emisiones per cápita anuales son mucho mayores que las generadas en el uso de todos los demás combustibles. La Figura también muestra que en todos los casos, las emisiones fueron cada vez mayores. Esto fue debido al ligero incremento per cápita en el uso de la leña.

Las emisiones de NOx se presentan en la Figura 4.3. Como se puede observar, nuevamente el uso y producción de la electricidad son el factor mas importante en la evolución de las emisiones. Solamente Francia, Suecia y Gran Bretaña disminuyeron las emisiones per cápita de NOx. Al igual que en el caso del CO, en el caso de Francia y Suecia, la razón de esta disminución fue la disminución del uso de los combustibles fósiles en la producción de electricidad. En Gran Bretaña la caída se debió a la disminución de la electricidad en el uso final.

## Emisiones de Monóxido de Carbono debidas al uso de energía residencial OCDE (1973 y 1990)

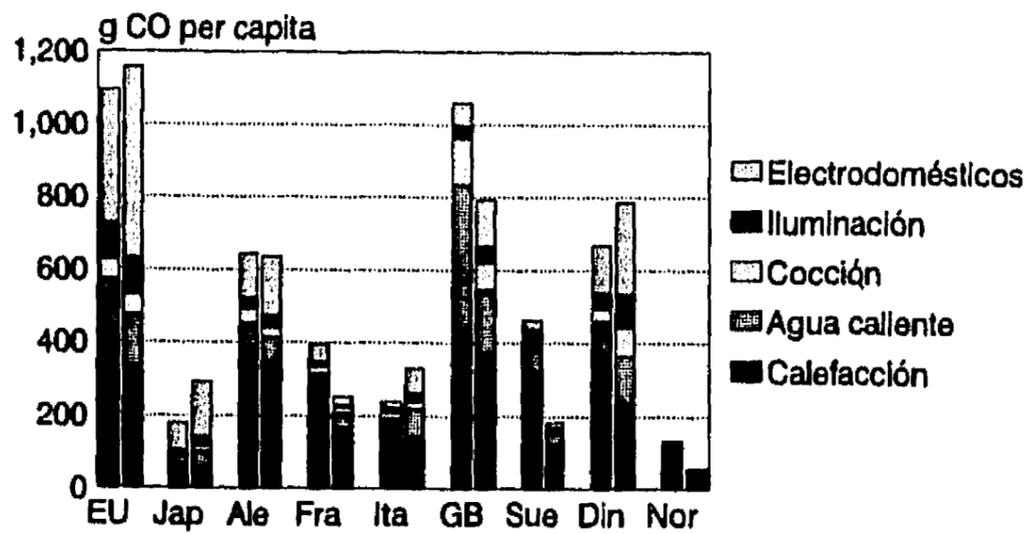


Figura 4.1

## Emisiones de Monóxido de carbono debidas al uso de la leña en el sector residencial\* OCDE (1973 y 1990)

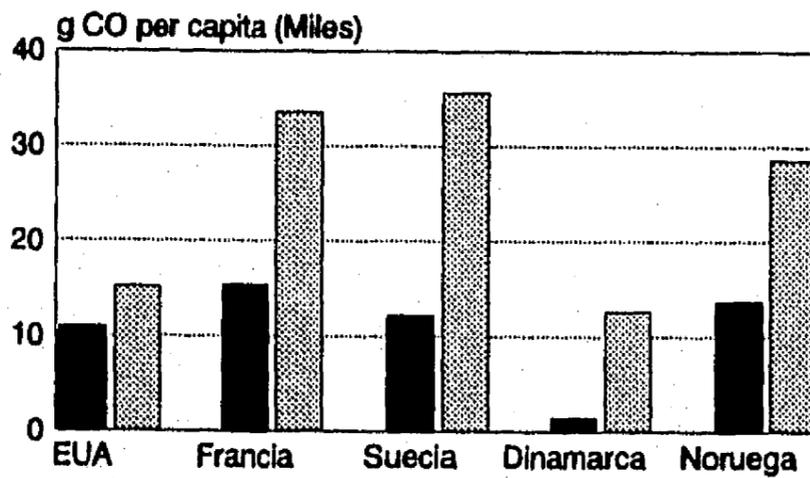


Figura 4.2

\*Suponiendo uso en chimeneas

## Emisiones de Oxidos de Nitrógeno debidas al uso de energía residencial OCDE (1973 y 1990)

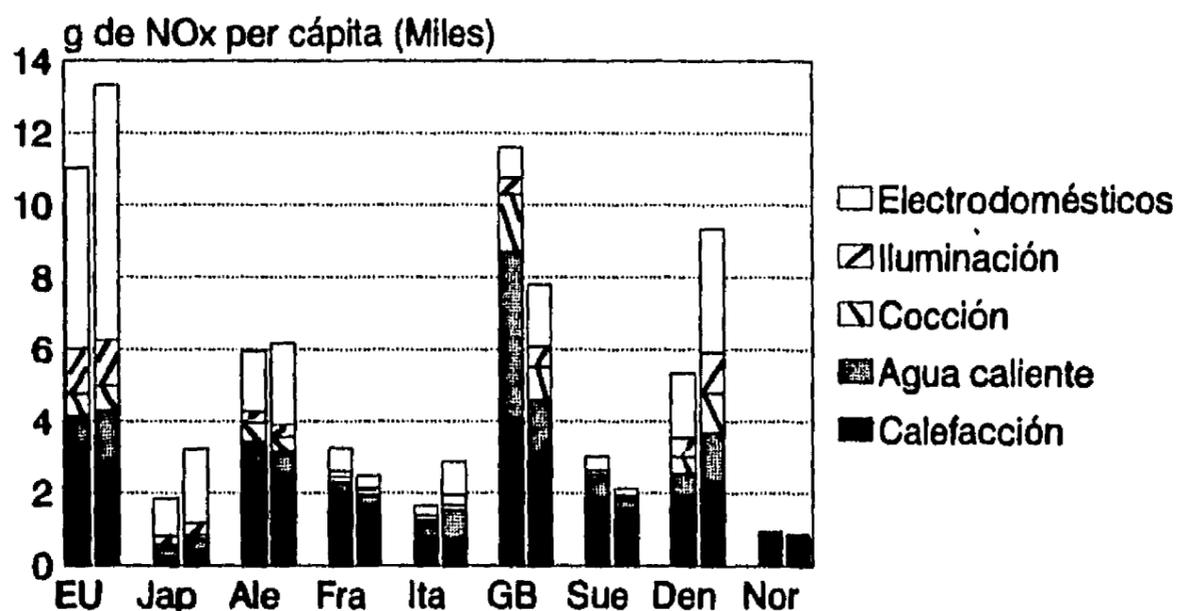


Figura 4.3

## Emisiones de Bióxido de Azufre en la OCDE Debidas al uso de electricidad residencial (1973 y 1990)

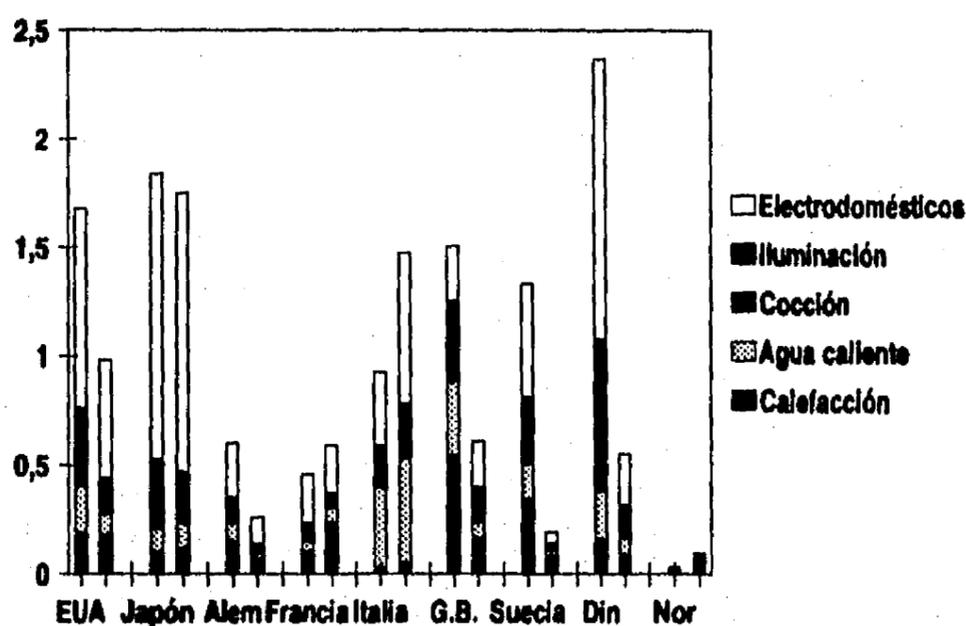


Figura 4.4

**Fuentes:** Uso de energía (Apéndice 1). Configuración de la producción de electricidad, Balances de energía OCDE (IEA diversos años) Índices de emisión: EPA (1992), OCDE(1991), Radián (1990)

**Tabla 4.2**  
**Coefficientes de emisión de NOx, CO, CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>**

	CO g/GJ	NOx g/GJ	CO <sub>2</sub> Ton C/PJ	SO <sub>2</sub> Kg/GJ
Petróleo destilado	11.5	51	20.4	0.9522s+0.28946
Carbón	18.0	200	25	0.8923s
Leña	6002	116	0	
Gas	10.0	47	14	.00023

Fuente: OCDE 1992 y EPA 1992

Petróleo: promedio entre las emisiones producidas por calentador de gas LP y caldera de petróleo.

Gas: Coeficiente para calentador de gas

Carbón: Considerando emisiones para calentadores de carbón.

Leña: Considerando emisión en el uso en chimeneas.

El cálculo de SO<sub>2</sub> es para plantas generadoras de electricidad y la letra s se refiere al porcentaje por peso, de azufre en el combustible.

**Tabla 4.3**  
**Coefficientes de emisión de la electricidad**

	CO 1973 g/GJ	CO 1990 g/GJ	NOx 1973 g/GJ	NOx 1990 g/GJ	CO <sub>2</sub> 1973 Kg C/GJ	CO <sub>2</sub> 1990 Kg C/GJ	SO <sub>2</sub> 1973 g/GJ	SO <sub>2</sub> 1990 g/GJ
Estados Unidos	65.4	63.4	533.2	464.0	58.0	54.1	169.1	71.9
Japón	44.3	41.4	535.5	422.0	56.4	41.2	704.4	314.6
Alemania-occ.	80.2	56.5	598.2	401.0	70.6	47.6	159.0	40.4
Francia	42.1	10.8	423.3	83.3	45.7	9.9	192.8	89.2
Italia	36.2	49.7	447.8	531.7	46.6	37.9	597.0	485.0
Reino Unido	73.2	74.5	573.2	553.4	68.0	59.9	265.7	112.4
Dinamarca	65.9	92.0	647.2	634.9	13.9	3.1	631.1	81.8
Suecia	10.6	3.4	33.4	26.7	72.3	78.4	188.6	12.3
Noruega	0.12	0.25	1.44	2.8	1.0	0.32	1.9	3.3

Configuración por fuentes en la generación de la electricidad (IEA 1970-1990), ver Tabla 4.4

Se considera un coeficiente de generación-producción de electricidad constante de 3.24 para todos los países.

Índices de emisión: Turbina gas: 32 g/GJ CO, 188 g/GJ NOx. Termo de comb.15 g/GJ CO, 200 g/GJ NOx

Carbón: promedio: 60 g/GJ CO, 500 g/GJ NOx.(U.S. EPA 1992)

Índice de CO<sub>2</sub> está expresado en Kg de carbón, C, por GJ.(Marland 1982, Tovargner 1991)

Se considera 1% de contenido de azufre en el petróleo y 2.5% en el carbón. Para este último se estima alto contenido de azufre pero carbón pre-lavado (norma legal en los países de la OCDE) (Flavin 1992, U.S. EPA 1992, IEA 1992)

**Tabla 4.4**  
**Fuentes primarias de generación de electricidad**

	Derivados del Petróleo	Carbón	Gas	Nuclear	Hidro y renov.
<b>Estados Unidos</b>					
1973	16%	47.2%	19.1%	4.3%	13.4%
1990	5.7%	56.3%	9.6%	19.0%	9.4%
<b>Japón</b>					
1973	72.5%	7.9%	2.2%	2.1%	12.6%
1990	32.0%	14.7%	18.7%	23.1%	11.5%
<b>Alemania-occ.</b>					
1973	14.3%	70.7%	7.3%	2.2%	5.5%
1990	2.9%	52.5%	6.8%	33.8%	4.0%
<b>Francia</b>					
1973	19.9%		39.9%	8.4%	31.8%
1990	9.2%		3.0%	75.4%	12.4%
<b>Italia</b>					
1973	61.5%	4.5%	3.1%	2.2%	28.7%
1990	49.6%	15.9%	16.6%		17.9%
<b>Reino Unido</b>					
1973	25.6%	61.9%	1.0%	9.9%	1.6%
1990	9.7%	65.1%	0.7%	23.1%	1.4%
<b>Dinamarca</b>					
1973	35.8%	64.1%			0.1%
1990	90.9%	5.7%	1.4%		1.0%
<b>Suecia</b>					
1973	1.2%	19.4%		2.7%	76.0%
1990	2.7%	1.2%	0.2%	45.8%	50.1%
<b>Noruega</b>					
1973	0%	0.2%			99.8%
1990	0.1%	0.3%			99.6%

Fuente: (IEA, 1975, 1980, 1990)

Las emisiones de SO<sub>2</sub> debidas al uso de energía eléctrica en el sector residencial se exponen en la Figura 4.4. No se calcula la contaminación generada por el consumo de otras fuentes de energía final, debido a que es despreciable comparada con las emisiones producidas en la producción de electricidad (U.S. EPA 1992). Como puede apreciarse, entre 1973 y 1990, todos los países disminuyeron emisiones, debido principalmente a la caída en el uso del combustóleo. Las naciones que más SO<sub>2</sub> generan son Estados Unidos y Dinamarca por la importancia del carbón como fuente primaria en la generación de energía eléctrica.

Cabe mencionar el cálculo de las emisiones de este contaminante no toman en cuenta la variación del contenido de azufre en los combustibles. A finales de la década de los setenta, un arreglo de reducción de emisiones de SO<sub>2</sub> fue aprobado por los países miembros de la Agencia Internacional de Energía. Este acuerdo incluye estándares tanto

en el contenido de azufre del carbón y el petróleo como en las emisiones finales de SO<sub>2</sub> (IEA 1992, Kemp 1991).

## 4.2 Emisiones de CO<sub>2</sub>

La Figura 4.5 muestra las emisiones totales de bióxido de carbono per cápita por uso final y para cada país. Como se observa, los estadounidenses tienen la mayor emisión per cápita de CO<sub>2</sub>. En 1990 Estados Unidos emitía 1,172.9 kilogramos de carbón per cápita, 70% más que los japoneses. Esto es principalmente, como se mencionó en el capítulo 2, porque este país tiene las casas con superficies más grandes y mayor saturación de electrodomésticos.

### Emisiones de Bióxido de Carbono (OCDE) Energía residencial (1973 y 1990)

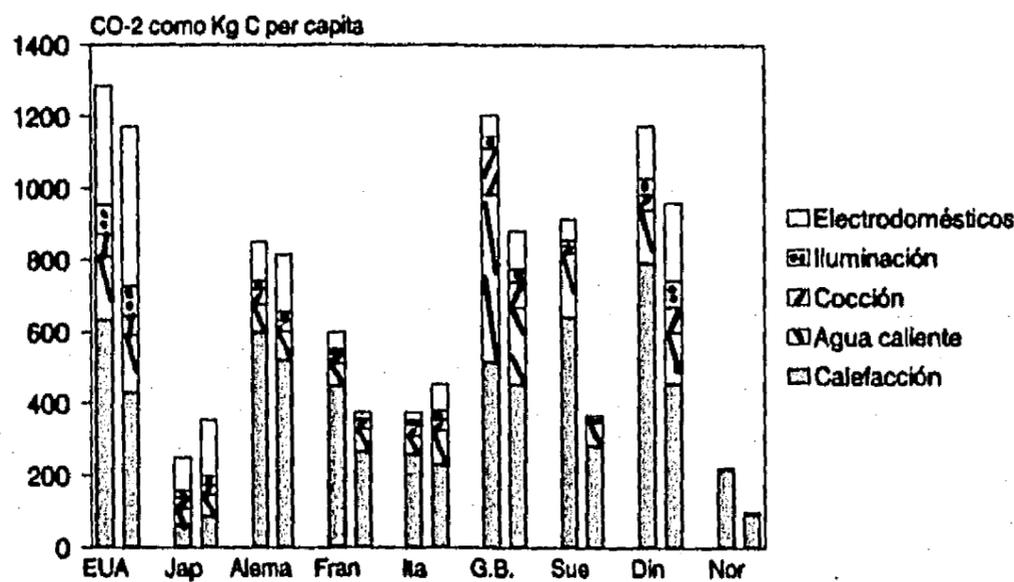


Figura 4.5

El segundo país con mayor número de emisiones per cápita es Dinamarca, que en 1990 emitía 962.1 kilogramos de carbón per cápita. Como los estadounidenses, los daneses tienen también casas de gran superficie y una importante saturación de electrodomésticos, sin embargo el consumo unitario de energía (CUE) es menor en Escandinavia. Dinamarca es seguido por el Reino Unido, con 881.5 y Alemania occidental con 816.9 kilogramos de carbón per cápita. En estos dos últimos países la

eficiencia en la calefacción es menor que en los dos primeros pero las viviendas son más pequeñas y hay menos casas con calefacción central.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> decrecieron en todos los países excepto en Japón e Italia. El decremento se debió a diferentes razones entre las que se encuentran disminución en las intensidades energéticas, la disminución de carbón y petróleo como energía final y de los combustibles fósiles en la producción de electricidad. En Italia y Japón, el incremento en la emisión de CO<sub>2</sub> se debió a la importante penetración de electrodomésticos y a la importancia del carbón en la producción de electricidad.

#### 4.2.1 Cambio en la configuración por fuentes de la energía final

La Figura 4.6 muestra la evolución del coeficiente de emisión de electricidad. Como se observa Italia y Dinamarca son los únicos países cuyo coeficiente de emisión creció debido al aumento del uso del carbón en la producción de electricidad. El coeficiente de emisión es casi cero en Noruega debido a la importancia de la hidroelectricidad.

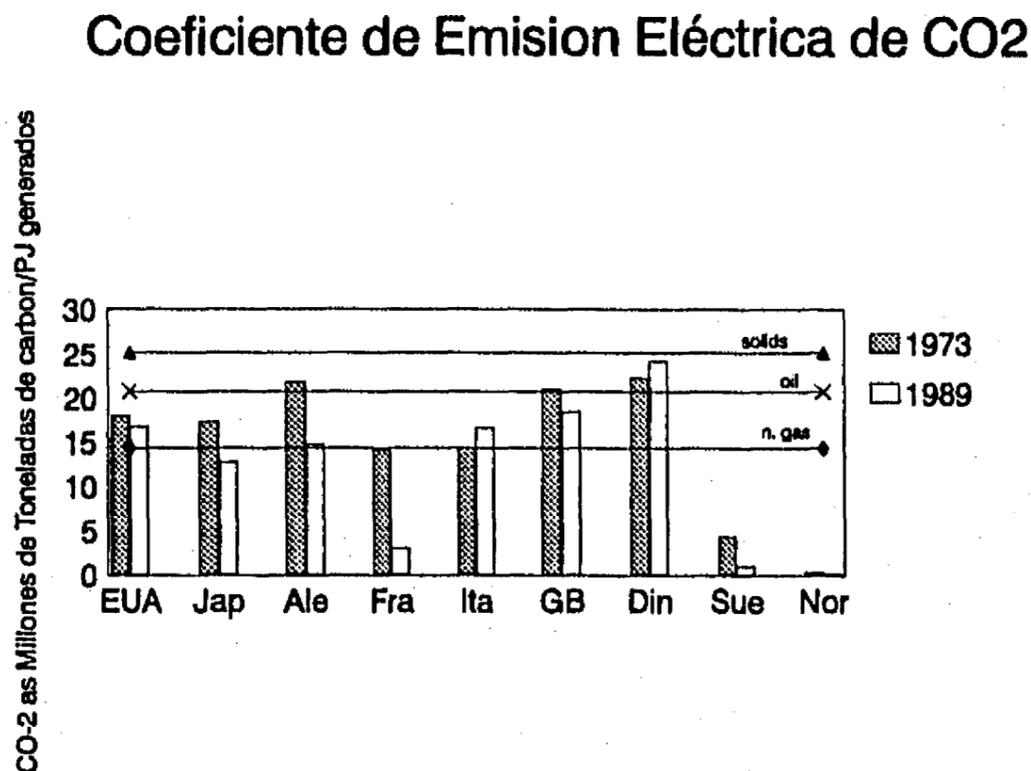


Figura 4.6  
Pérdidas por generación y transmisión constantes

Fuentes: Balances de energía OCDE (IEA), Marland (1982), Tovargner (1991)

En relación a la calefacción distrital, entre 1973 y 1990, el coeficiente de emisión decreció cerca de 28% en Suecia, 19% en Alemania occidental y 27% en Dinamarca debido al incremento del uso de la biomasa en sustitución del petróleo.

La Figura 4.7 muestra la contribución de cada combustible y de la electricidad a la emisión de CO<sub>2</sub> entre 1973 y 1989. Durante estos años, la emisión debida a la producción y uso de electricidad para el sector residencial creció en todos los países excepto en Francia y Gran Bretaña. En el primer país la disminución se debió al importante incremento de la electricidad nuclear. En el segundo caso, al decremento en la importancia de la electricidad como energía final para calefacción y calentamiento de agua.

### Emisiones de bióxido de carbono por fuente (OCDE) 1973 1989

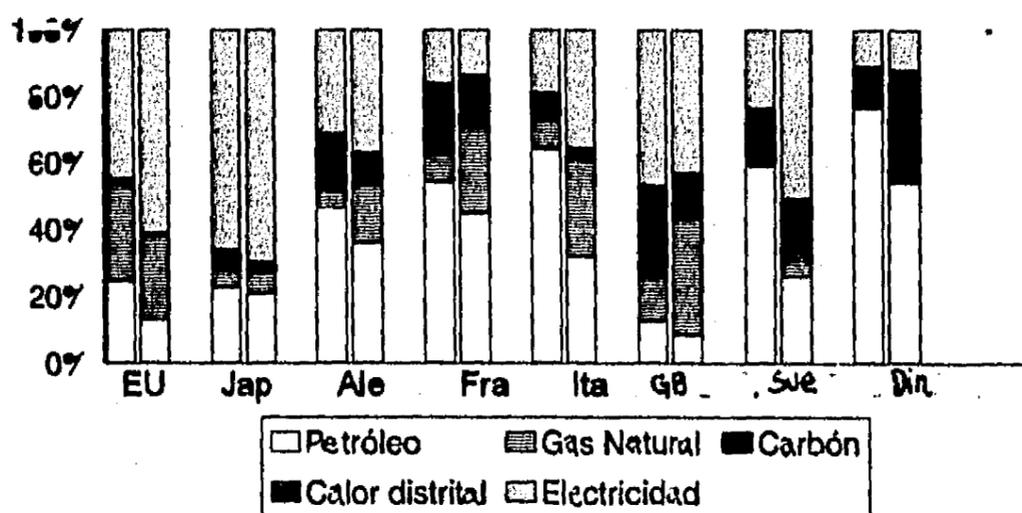


Figura 4.7  
Fuente: Shienbaum & Schipper (1993)

Las emisiones por el uso directo del carbón decrecieron 32.5% en Japón y más del 50% en otros países debido a la importancia de otras fuentes en el uso final. De igual manera, el porcentaje del total de emisiones debidas al uso de petróleo en el sector residencial decreció en todos los países.

Las emisiones debidas al uso de gas natural se incrementaron 69% en Japón, 199% en Alemania occidental, 103% en Francia, 250% en Italia, 115% en el Reino Unido y

244% en Dinamarca. Sin embargo, la sustitución del gas natural por petróleo y carbón tuvo el efecto total de disminuir las emisiones.

La creciente participación de la calefacción distrital como energía final hizo que las emisiones debidas a esta forma de energía fueran mayores en Alemania, Dinamarca y Suecia a pesar de la importante sustitución de biomasa por derivados del petróleo en la producción del mismo.

#### **4.2.2 Emisiones de CO<sub>2</sub> por usos finales**

La calefacción es el principal componente en las emisiones de bióxido de carbono, excepto para el Japón, sin embargo las emisiones debidas a este uso disminuyeron en la mayoría de los países debido al incremento en la eficiencia de uso de la energía y a la disminución del uso de carbón y petróleo en el uso y producción de la energía. En Estados Unidos, por ejemplo, el decremento fue del 29% y se debió a una caída del 9.1% en el uso de energía primaria para este uso y a un decremento del 6.1% en el coeficiente de emisión eléctrico.

En el caso de Francia las emisiones de CO<sub>2</sub> decrecieron en un 33%, a pesar de que el uso per cápita de energía para calefacción subió en un 12.9%. En este país, al igual que en Alemania y Noruega el factor más importante en el decremento de las emisiones producidas por el uso de energía para calefacción fue la disminución en el uso de los combustibles fósiles en la producción de electricidad.

En el caso de Dinamarca, a pesar del incremento del índice de emisión de la electricidad, el aumento en la eficiencia del uso de la energía para calefacción se vio reflejado en una disminución de las emisiones de cerca del 39%.

En paralelo a la intensidad energética, se puede definir la intensidad en las emisiones debidas al uso de energía para calefacción como el CO<sub>2</sub> emitido por unidad de superficie y día grado. La Figura 4.8 muestra la evolución de este indicador. Como se observa, el mayor decremento ocurrió en Escandinavia-3 y fue mayor que la disminución en la intensidad energética debido a la importancia en la reducción de las emisiones eléctricas en Suecia y Noruega.

## Emisiones de Bióxido de Carbono por Calefacción (OCDE) Intensidad

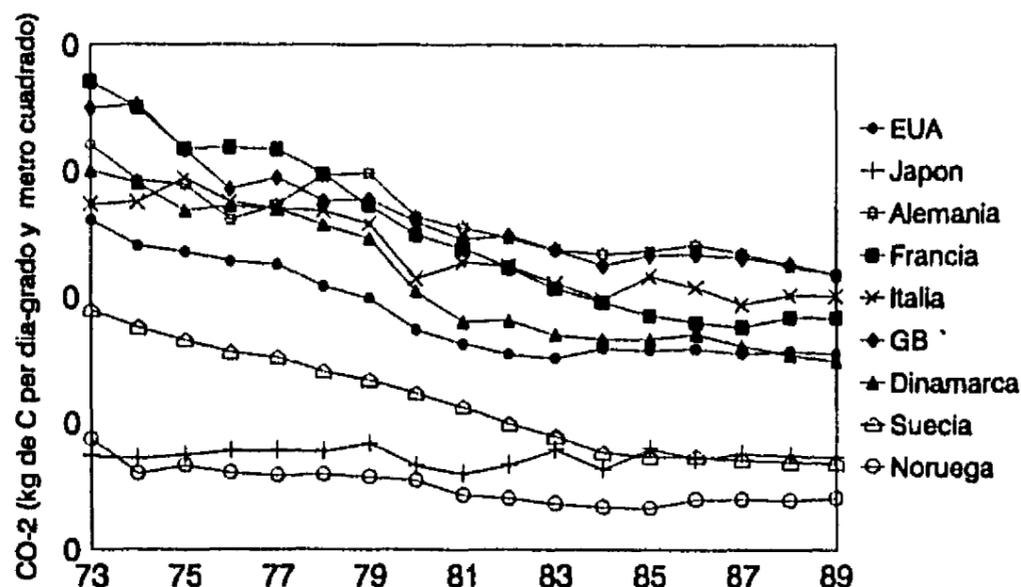


Figura 4.8

El calentamiento de agua y la cocción representan el segundo uso final de energía pero el tercero en emisiones de CO<sub>2</sub>. Las emisiones per cápita debidas al uso de la energía para estos usos decrecieron 13% en los Estados Unidos, 10% en Alemania, 28% en Suecia 43.7% en Noruega y 28% en el Reino Unido. En comparación, las emisiones crecieron 21% en Japón, 43% en Italia debido a al mayor importancia de la electricidad, 12.5% en Dinamarca debido a la participación creciente del carbón en la generación de electricidad y 6.7% en Francia debido al incremento del uso de gas natural para estos usos.

El incremento más importante ocurrió debido al uso de la energía para iluminación y electrodomésticos. En este caso, las emisiones solamente cayeron en Suecia y Francia debido a la importante disminución de los combustibles fósiles en la producción de electricidad. En el caso de Estados Unidos, Japón, Alemania, y el Reino Unido los factores estructurales determinaron el aumento de las emisiones (21.6%, 37.3%, 28.3% y 68.6% respectivamente). Finalmente en el caso de Dinamarca e Italia ambos efectos provocaron un aumento del 43.4% y 132% respectivamente.

### 4.2.3 Índices de cambio

La Tabla 4.4 muestra la descomposición de cambios en las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al uso de energía primaria del sector residencial. Los cambios fueron calculados

cuantificando el efecto estructural y de intensidad para cada uso final. Asimismo, se calcula la contribución de cada fuente en el uso de energía primaria

**Tabla 4.4**  
**Índices de cambio en las emisiones de CO<sub>2</sub>**  
**Porcentaje de cambio total (%)**

	Real	Efecto poblacional	Efecto estructural	Efecto de Intensidad	Efecto en la Contribución primaria	Efecto en la contribución final
USA	-9.8	17.5	13.2	-27.9	-5.9	-1.7
Japón	35.5	15.3	18.3	32.9	-16.2	-7.1
Alemania-occ.	-4.6	1.0	41.8	-18.7	-19.4	-5.1
Francia	-39.8	7.2	35.0	-1.5	-50.2	-24.6
Italia	10.9	5.0	38.0	-12.3	-8.3	-12.9
Reino Unido	-16.1	1.7	69.3	-53.1	-15.0	-9.9
Dinamarca	-16.7	2.4	22.5	-31.1	-1.9	-0.9
Suecia	-52.0	4.5	22.8	-6.8	-62.6	-41.9
Noruega	-33.6	6.1	30.0	-0.6	(1)	-58.2

(1) Más del 99% de la electricidad en noruega es producida por hidroelectricidad

Fuente: Sheinbaum & Schipper (1993)

El efecto poblacional fue especialmente importante en Estados Unidos, Japón y Francia. El efecto estructural que refleja los cambios en la superficie de las viviendas, tamaño del hogar y penetración de los electrodomésticos presionó para el aumento de las emisiones especialmente en Europa-4.

El efecto de la intensidad energética presionó para la disminución de las emisiones en todos los países excepto en Japón. Los países de mayor reducción debido a este efecto fueron Estados Unidos y Dinamarca. En el Reino Unido la disminución de la electricidad en el uso final, se refleja en este indicador.

El efecto en la contribución de las distintas fuentes a la energía primaria, que representa el cambio en las fuentes de energía final y en la producción de electricidad y calefacción distrital, presionó para la disminución del uso de la energía en los nueve países. En Suecia y Francia este efecto es mayor debido a la importancia de la electricidad nuclear. En Dinamarca e Italia, a pesar del aumento en el uso de recursos fósiles para la producción de electricidad, la configuración final de las fuentes resulta en una disminución de las emisiones. En Dinamarca esto se debe a la importancia del uso de la calefacción

distrital y el aumento de la biomasa en la producción de esta forma de energía y en Italia, la disminución se debe al aumento del uso del gas natural.

El efecto en la contribución final, que no toma en cuenta la producción de electricidad ni calefacción distrital, presionó hacia la disminución de las emisiones en los nueve países. En estados Unidos y Dinamarca el efecto es menor, mientras que en Suecia y Dinamarca debido a la importancia de la electricidad el efecto es mayor. Finalmente las Tabla 4.5 muestran los índices de cambio en la producción y uso de la electricidad y la calefacción distrital.

Estos resultados muestran la importancia de diversos factores en la emisión de CO<sub>2</sub> en el sector residencial. Muestran que no basta disminuir las intensidades energéticas si la electricidad se sigue generando con combustibles fósiles. Esto significa que el aumento en la eficiencia de la producción eléctrica y las alternativas renovables a la producción de electricidad son de fundamental importancia en la reducción del CO<sub>2</sub>.

**Tabla 4.5**  
**Índices de cambio**  
**Electricidad y calefacción distrital**  
**Porcentaje total de cambio (%)**

	Producción de Electricidad	Uso de electricidad (*)	Producción de calor dist.	Uso de calefacción distrital (*)
USA	-6.8	37.4		
Japón	-26.7	32.4		
Alemania-occ.	-32.5	39.3	-19.6	3.4
Francia	-78.5	96.7		
Italia	16.2	47.7		
Reino Unido	-12.1	-10.9		
Dinamarca	8.6	93.4	-21.3	25.4
Suecia	-77.8	84.9	-27.6	11.8
Noruega	97.6	11.2		

(\*) Tomando en cuenta pérdidas en la generación, transmisión y distribución  
Fuente: Sheinbaum & Schipper 1993.

## Capítulo 5

### Potencial de ahorro y políticas de eficiencia y conservación en los países de la OCDE

En general, el potencial de eficiencia y conservación de la energía puede obtenerse de varias maneras manteniendo el nivel de servicio constante. Entre las más importantes se encuentran: a) mejoras en la eficiencia técnica del equipo, b) mejoras en la instalación y diseño de un sistema (como el uso de la energía solar pasiva, por ejemplo), c) uso correcto y mejoras en el manejo del equipo, d) mantenimiento del equipo y e) sustitución de una forma de energía final por otra (IEA 1991, Koomey et al. 1991a, Schipper et al. 1992a, Jochem y Morovik 1988).

En el caso de las mejoras en la eficiencia del equipo, se pueden caracterizar dos tipos de potencial: el técnico y el económico<sup>27</sup>. El potencial técnico es definido por Krause y Etos (1987) como la cantidad de energía ahorrada que puede ser alcanzada si todos los usuarios utilizaran los equipos más eficientes, sin considerar tiempos de retraso ni otras limitaciones prácticas asociadas con los problemas del "mundo-real."

De acuerdo con Koomey et al. (1991b), el potencial económico (o el potencial de conservación alcanzable) es un límite superior de la eficiencia que pueda ser capturada por las compañías suministradoras de energía. El mercado capturará parte del potencial técnico, con limitaciones asociadas a las fallas del mismo mercado, como son las barreras en la información, limitaciones de capital, riesgos en la inversión, comportamiento, etc.<sup>28</sup>.

De acuerdo con Levin et al. (1991a), el potencial económico, desde el punto de vista de un particular, depende principalmente de los precios de la energía, de las

<sup>27</sup>De acuerdo con Koomey et al. (1991a), este potencial es denominado: "potencial técnico de conservación" (Technical Conservation Potential) y "potencial alcanzable de conservación" (Achievable Conservation Potential).

<sup>28</sup>En este mismo trabajo se especifica el costo social de la conservación de energía. Para más información respecto a este tema ver Berry (1989), Nadel (1992), Levin et al. (1994) o Gadgil y Januzzi (1989).

características técnicas de la tecnología eficiente y convencional, del ahorro de energía generado en la sustitución, de la tasa de descuento<sup>29</sup> y de las posibilidades del usuario de invertir en el costo inicial de la tecnología eficiente. Desde el punto de vista social, una inversión es viable si el costo de la energía ahorrada es menor que el costo marginal de la energía producida<sup>30</sup>.

En esta sección se describen algunos ejemplos del potencial de ahorro y eficiencia para cada uno de los usos finales. No se presentan escenarios futuros del uso de la energía residencial en los países de la OCDE. Estos escenarios han sido desarrollados por otros autores y pueden consultarse en Schipper et al. (1992a) y Schipper et al. (1992b).

## **5.1 Algunos ejemplos del potencial técnico y económico<sup>31</sup>**

Como se mencionó en el capítulo 2, a partir de 1985, existe un estancamiento en la tendencia de disminución de la intensidad energética debido, entre otras razones, a los bajos precios de la energía en los países de la OCDE. Sin embargo hay una variedad de estudios que sugieren que existe un importante potencial en las mejoras a la eficiencia energética en el sector residencial, aun cuando los precios de la energía no aumenten. En este apartado se describen algunos de estos estudios (Lovins & Lovins 1991, Goldemberg et al. 1988b, Schipper et al. 1992a).

### **5.1.1 Calefacción**

Los requerimientos energéticos de la calefacción y/o el enfriamiento de una vivienda están básicamente influenciados por la eficiencia de conversión del equipo, por la operación y uso del mismo y por la eficiencia térmica del caparazón de la construcción.

Como se mencionó en el capítulo 2, la tecnología de mayor penetración para este uso es la calefacción central. En estos sistemas, las opciones tecnológicas para incrementar la eficiencia incluyen mejoras en el aislamiento y forma de los calentadores (o boilers),

---

<sup>29</sup>Existe una importante discusión acerca de la definición del valor de la tasa de descuento en el caso del sector residencial. Para ahondar en este tema véase IEA (1991), Meier and Whitter (1983), Schipper et al. (1992a)

<sup>30</sup> Existe un efecto denominado "take-back", que se refiere al incremento en el uso, una vez que el usuario adquiere el equipo más eficiente. Este fenómeno ha sido discutido por Khazzoom (1990).

<sup>31</sup>Partes importantes de este capítulo se basan en el artículo Schipper y Sheinbaum (1994)

diseño de los hornos, reducción en las pérdidas de la distribución, mejoras en el control de la temperatura y recuperación de calor. En los sistemas eléctricos la eficiencia se acerca al 100%, sin embargo en aquellos que utilizan combustibles fósiles existe un importante potencial de ahorro que proviene de disminuir las pérdidas por combustión y distribución del calor. De acuerdo con un estudio de la IEA (1991) si se utilizaran las mejoras tecnológicas existentes, la eficiencia de los sistemas que utilizan petróleo podría aumentar en un 20%, mientras que los de gas entre un 10 y 15%. En relación al uso de la tecnología, el mismo estudio menciona que los requerimientos energéticos de calefacción en un edificio de departamentos podrían reducirse en un 20% si se instalaran medidores y termostatos en cada hogar.

La eficiencia térmica está determinada por el nivel de aislamiento de las paredes y techos de la vivienda, por la filtración de aire, por el tamaño y características de las ventanas y por la orientación de la construcción. Las opciones para reducir la transferencia de calor en los edificios varían dependiendo de donde se encuentren las mayores pérdidas. Alrededor de un tercio de las pérdidas del edificio se producen a través de las paredes y el techo y alrededor del 10% en las ventanas y la ventilación (U.S. DOE 1980). De acuerdo con el reporte de IEA (1991), las mejoras tecnológicas pueden hacer que las pérdidas de calor a través de las ventanas se reduzcan en un 10% de su nivel actual, las cuales tendrían un coeficiente de transmisión comparable al de una pared bien aislada (alrededor de  $0.3 \text{ W/m}^2/\text{°K}$ ).

En realidad las características térmicas de las viviendas nuevas y "viejas" varían dependiendo del país. Esto es porque los niveles óptimos y actuales del aislamiento dependen de los materiales locales, costos de instalación, diseños y prácticas en la construcción, además de los precios de la energía. Por esta razón los estudios del potencial de conservación en calefacción deben ser considerados para cada país. A continuación se presentan ejemplos del potencial económico de los posibles ahorros de la energía.

En Alemania occidental, un estudio reciente analiza los costos de la conservación de energía en cinco diferentes tipos de edificios (Ebel 1990). En promedio, un ahorro del 40% puede ser obtenido y es costeable ("cost effective") inclusive si el precio de la energía se mantiene bajo, considerando una inversión inicial de alrededor de 2600 dólares para una casa alemana promedio (33dls/m<sup>2</sup>).

En Estados Unidos, un estudio gubernamental estima que los ahorros de energía pueden ser obtenidos en 20 años en "retrofits" de las viviendas construidas después de 1975, pero solamente la mitad se estima es costeable (U.S. EIA). En comparación con Alemania, el potencial reducido se debe a los bajos precios de la energía.

En Dinamarca, un reciente estudio del Ministerio de Energía de Dinamarca (DEA 1993) estima que para que las casas construidas después de 1979 tuvieran un ahorro del 25%, el periodo de reembolso (utilizando los precios actuales de la energía) sería de 17 años para una casa y de 11 años para un departamento. Sin embargo, se estima que una disminución del 10% en la intensidad puede lograrse para el año 2010, sin tomar en cuenta las renovaciones o reemplazo de viejas por nuevas viviendas.

En Suecia el potencial de ahorro también depende del estado actual de las viviendas. En este país, los índices actuales de aislamiento de los edificios son altos, lo que hace que el potencial de ahorro sea menor que en otros países. Un estudio reciente de casas individuales que usan electricidad para calefacción (alrededor del 50% y son de las más eficientes) encontró que una opción atractiva que puede ahorrar en un 10% el uso de energía en estas viviendas es aumentar el aislamiento del ático. El costo de esta alternativa sería similar (110 a 130 SEK/ GJ) al que pagan los suecos por la electricidad para este uso (140 SEK/GJ) (Schipper et al. 1992a).

Se estima que en 1987 en los Estados Unidos y Europa occidental, la intensidad energética de las nuevas viviendas era entre 20 y 30% menor que el promedio total. Esto significa que inclusive sin mayores mejoras en la tecnología o aumento en el precio de la energía, la penetración de las nuevas viviendas reducirá gradualmente la intensidad energética. Aún más, Escandinavia es la región cuyas nuevas viviendas tienen los menores índices de transferencia de calor. Si en toda Europa occidental y Estados Unidos se llegaran a alcanzar esos niveles, las nuevas viviendas serían 25% más eficientes que las construidas a finales de los años ochenta. Pilkington (1990) demuestra que este cambio es costeable en el caso del Reino Unido. Quizá el mayor problema para que esto se lleve a cabo en varios países europeos es que las viviendas son de ladrillo, en vez de madera, lo que hace que el aislamiento sea más difícil y por lo tanto más costoso.

Tomando como límite el año 2010, es factible esperar que las intensidades energéticas para calefacción se reduzcan entre un 10 a 20% (sin un importante aumento en los precios de la energía), lo que en la configuración total será significativo debido a la

importancia relativa de la calefacción en el consumo de energía residencial. Sin embargo, esta disminución será considerablemente menor a la obtenida en las últimas dos décadas.

En conclusión, es factible suponer que en el futuro cercano, en Estados Unidos y Europa occidental, independientemente de la variación en los precios de la energía, la intensidad energética para calefacción continuará decayendo, debido a que las viviendas de nueva adquisición son más eficientes que las antiguas (debido a los estándares). Por el contrario, en el caso de Japón, no obstante que la calefacción es un uso final secundario, se espera un aumento en la intensidad, debido al incremento en la adquisición de calentadores.

### **5.1.2 Calentamiento de agua y cocción**

El potencial de ahorro para estos usos está menos desarrollado que para calefacción y electrodomésticos debido principalmente a que representan un porcentaje menor en el consumo de energía residencial de los países de la OCDE. En este apartado se mencionan algunas de las mejoras tecnológicas disponibles para estos usos.

En el caso del calentamiento de agua, el potencial varía dependiendo del tipo de calentador. Un porcentaje importante de los hogares en Europa occidental y Estados Unidos, utilizan los dispositivos de calefacción central para proveer agua caliente durante el invierno y en algunas ocasiones otra tecnología durante el verano. En el primer caso (calefacción central) la eficiencia de estos dispositivos es muy baja debido principalmente a las pérdidas de calor en el almacenamiento y distribución del agua caliente. De esta forma, importantes ahorros de energía se pueden lograr en el aislamiento de boilers, pipas y tubos de distribución. Además del aislamiento, la eficiencia de estos dispositivos y de los calentadores (exclusivos para agua caliente) de gas o derivados del petróleo puede aumentar evitando la pérdida de energía en el "piloto" utilizando encendido electrónico y aumentando la eficiencia de los quemadores. De acuerdo con un estudio de la IEA (1991) los calentadores de gas más eficientes en Estados Unidos tienen una eficiencia ("input-output ratio") de 72%, 17% mayor a la de un calentador nuevo promedio y 32% mayor que la del promedio total. Sin embargo, la sustitución no es costeable debido a los bajos precios de la energía.

Las resistencias eléctricas utilizadas en muchos países (en muchos casos en el verano, cuando no está en uso la calefacción central) tienen una eficiencia de conversión cercana al 100%, e incluso su eficiencia en la distribución puede aumentar a través del aislamiento. De acuerdo con el mismo estudio de IEA (1991) en Estados Unidos, el consumo unitario de energía del calentador eléctrico más eficiente es de 2000 kwh/año, 1500 menos que el promedio de los nuevos y 2000 Kwh/año menor que el promedio de los que están en uso.

Un elemento a tomar en cuenta es la diferencia entre Estados Unidos y Europa en el calentamiento de agua para las lavadoras de ropa y platos. En la primera región, el agua caliente la provee el calentador central, mientras que en Europa la mayoría de los dispositivos calientan su propia agua. Este último procedimiento es más eficiente debido a que no involucra pérdidas en el almacenamiento y la distribución. Finalmente, dispositivos ahorradores de agua en las regaderas, que son de muy bajo costo pueden aumentar la eficiencia de uso del agua caliente.

En conclusión se puede decir que a corto plazo no se esperan grandes ahorros de energía para este uso. La mayor penetración de la calefacción central hará que aumente la intensidad energética para el calentamiento de agua si se mantienen los dos usos utilizando la misma tecnología. Aún así, otros adelantos tecnológicos podrán compensar o probablemente disminuir el consumo de energía para este uso.

En el caso de la cocción de alimentos, cambios estructurales como la reducción del número de comidas en casa han sido más importantes en la disminución de las intensidades energéticas que los cambios tecnológicos. Sin embargo un importante número de nuevos dispositivos han generado ahorros en el uso de energía para cocción como es el caso del horno de microondas que utiliza 50% menos energía que un horno convencional (Schipper & Hawk 1991). Nuevos dispositivos tecnológicos como son las estufas de inducción electromagnéticas que generan calor por medio a esta forma de energía, pueden reducir el uso de las estufas convencionales de gas o eléctricas hasta en un 45% (Gelineau 1990). En general se espera que la penetración de estos dispositivos (aunque lenta) seguirá permitiendo una ligera disminución de las intensidades energéticas.

### **5.1.3 Iluminación**

Este es quizás el uso final de mayor potencial de ahorro. El aumento en la eficiencia lo representan las lámparas compactas fluorescentes que utilizan cerca del 25% de la energía que usan los bulbos convencionales y proporcionan el mismo nivel de iluminación (Gadgil & Januzzi 1989). El mayor problema para la difusión de esta nueva tecnología, es el alto costo inicial de estos dispositivos, sin embargo programas de promoción y facilidades de compra de diversas compañías eléctricas en los Estados Unidos y Europa han hecho más accesible la adquisición de los compactos fluorescentes (Nadel et al. 1991 y Mills 1991a, 1991b).

Otras alternativas tecnológicas que representan ahorro de energía para este uso son la sustitución de bulbos convencionales por tubos fluorescentes convencionales y lámparas halógenas. En el primer caso la reducción es de cerca del 40% y en el segundo de cerca del 80%. En el caso de los tubos fluorescentes el aumento en la eficiencia de los balastos y las nuevas alternativas en la frecuencia de emisión (color más parecido a los bulbos incandescentes) hacen más atractiva la sustitución tecnológica de lo que era en el pasado. Las lámparas halógenas representan una alternativa a los focos que proporcionan luz directa. Esta tecnología representa un ahorro de energía de entre 70 y 80%, sin embargo su costo inicial es cerca de 50 a 60 veces mayor.

### **5.1.4 Electrodomésticos**

A diferencia de la calefacción donde las características de las viviendas hacen difícil la transferencia tecnológica de un país a otro, los electrodomésticos son un producto internacional cuyo país de origen tiene poco que ver con su eficiencia<sup>32</sup>. Al mismo tiempo y debido a la corta vida de los electrodomésticos (10-20 años), el efecto del aumento en la eficiencia de los nuevos aparatos en el consumo total de energía, es más rápido que en el caso de la calefacción (pues la vida media de una vivienda es mucho mayor que la de un electrodoméstico).

Existe un importante potencial en la eficiencia de los nuevos aparatos electrodomésticos. Schipper et al. (1992a) mencionan una variedad de estudios que

---

<sup>32</sup>La tecnología eléctrica en el sector residencial está concentrada en unas cuantas compañías a nivel mundial. La internacionalización de sus productos se da directamente a través de la venta de sus productos o con licencias tecnológicas a compañías nacionales (Newfarmer 1980).

sugieren que es posible reducir la intensidad energética de estos aparatos entre un 20 y un 40%. Varios programas como la Zanahoria de Oro - "*Golden Carrot*" (ACEEE 1991)- (desarrollo de refrigeradores eficientes sin uso de clorofluorcarbonados), el Consorcio de Eficiencia Energética de los EE.UU. - "*U.S. Consortium of Energy Efficiency*" - (Frantz 1993) y un Programa Sueco para refrigeradores eficientes - "*Teknik Upphandling*" - (NUTEK 1993a) han empezado a acercar el uso de la energía de los nuevos productos a su potencial teórico de ahorro. Han influido en esta misma dirección los nuevos estándares de los Estados Unidos (Turiel et al. 1991) y la posibilidad de estándares en la Comunidad Económica Europea (MacKensie 1993) y los países Nórdicos (NUTEK 1993b).

En Estados Unidos, las mejoras en la eficiencia de los electrodomésticos ha tenido un importante apoyo gubernamental a través de normas y de incentivos de las compañías eléctricas. Por ejemplo, los estándares para refrigeradores y congeladores nuevos que entraron en funcionamiento en 1993, deben cumplir obligatoriamente un valor mínimo de consumo de energía que ninguno presentaba en los modelos de 1989.

Una serie de estudios económicos y de ingeniería desarrollados por el Lawrence Berkeley Laboratory (LBL), conducidos para apoyar el desarrollo de los estándares de 1993 han establecido que existe un considerable potencial económico de las mejoras en la eficiencia de los aparatos domésticos. Para el refrigerador mas popular, se encontró que se puede aumentar la eficiencia en un 28% (nivel escogido para los estándares de 1993) en relación al producido en el año de 1989 (Turiel et al. 1991). Este mismo análisis sugiere que el uso de aislantes con paneles al vacío en los refrigeradores incrementaría la eficiencia en un 12% adicional y sería factible económicamente.

Para lavadoras de ropa y platos, el LBL encontró que las alternativas actualmente costeables ("*cost effective*") pueden reducir el consumo de energía en un 30% (los estándares a este nivel deberán entrar en efecto en 1994). Para las lavadoras de ropa, por ejemplo, el cambio de los modelos de eje vertical por eje horizontal (diseñados para alimentar la carga desde arriba) reducirá el uso de energía en alrededor de dos tercios, comparado con los modelos de 1989 (debido principalmente a la reducción en el uso de agua). Así mismo, el incremento en el "spin" o la velocidad de giro en la parte del ciclo correspondiente al "exprimido" de la ropa, puede reducir la energía utilizada en las secadoras de ropa en cerca de un 15% (pues la ropa estará menos húmeda). Otro cambio que ya han sido probado tecnológicamente pero aun no representan una sustitución económicamente viable para el usuario es el uso de bombas de calor que podrían reducir el

consumo de energía de las secadoras de ropa en un 70%<sup>33</sup>. La Tabla 5.1 muestra el ahorro y el costo de la energía ahorrada en los Estados Unidos en un estudio desarrollado por Koomey et al (1991b) para los principales electrodomésticos.

**Tabla 5.1**  
**Ahorro de Energía en el año 2010 para eficiencias**  
**de los estándares eléctricos posteriores a 1990**

	año del estándar	Costo de la Energía Ahorrada ¢/ Kwh	Ahorros en el año 2010 TWh/año
Refrigerador	1993	2.4	27.52
Congelador	1993	3.4	3.42
Secadora	1994	3.1	5.08
Lavadora	1994	2.1	3.39
Lavadora platos	1994	0.2	2.14
Aire acondicionado central	1992	6.0	2.58

Fuente (Koomey et al 1991).

En Europa occidental, es casi un acuerdo la estandarización de etiquetas en electrodomésticos que exhiban el consumo de energía de manera sencilla para el consumidor. Países como Suecia y en general los países Nórdicos, están considerando la posibilidad de incorporar estándares obligatorios (Karbo et al. 1991). Un estudio reciente de la Agencia Francesa para la Administración de la Energía (Agence Francais pour la Matrie de l'Energie) sobre estándares en electrodomésticos encontró resultados similares a los de Estados Unidos para los refrigeradores y congeladores (Lebot et al. 1991). El estudio del caso francés indica que en relación con los refrigeradores producidos en 1990, existe una alternativa costeable que puede reducir el consumo en un 33%, y de los congeladores en un 44%. Así mismo se menciona que el uso de doble compresor en los refrigeradores aumentaría aún más la eficiencia pero que a los precios actuales de la energía, esa alternativa no es económicamente viable.

<sup>33</sup>Una bomba de calor es un dispositivo que extrae calor de una fuente térmica determinada y lo deposita en un vertedero de calor o para algún uso útil a una temperatura mayor. Para que una bomba de calor aumente la temperatura de una fuente de energía de baja calidad aun nivel más útil es necesario agregar al sistema una cantidad relativamente pequeña de energía de "alta calidad". Esto significa que las bombas de calor son como multiplicadores del calor utilizable. Las bombas de calor son cerca de 75% más eficientes que las resistencias eléctricas (IIE 1990).

## **5.2 Políticas de eficiencia y conservación**

En la actualidad existe una importante discusión acerca de la necesidad y el nivel de participación del gobierno en la economía. El sector energético no se escapa de este debate. Dos elementos importantes a este respecto son: a) las experiencias de los países de la OCDE en el ahorro de energía y la importancia de la intervención gubernamental en este proceso y 2) la creciente preocupación acerca del impacto del uso de la energía en el ambiente y en el cambio climático global.

El primer punto se discute en este apartado. Como se mencionará a lo largo de este capítulo la intervención gubernamental ha jugado un papel muy importante sobre todo en las campañas de información, la instauración de estándares en los aparatos y aislamiento térmico de las viviendas, en la promoción de la investigación y desarrollo y en el impulso a los programas de administración de la demanda.

Durante las últimas dos décadas, la mayoría de los países de la OCDE implementaron medidas para apoyar el mejoramiento de la eficiencia energética, cada uno con diversos énfasis dependiendo del sector y de las características de cada nación. En algunos de los países, como es el caso de Francia, Suecia, Dinamarca y los Estados Unidos, los gobiernos jugaron un papel mucho más activo en la implantación de normas y leyes energéticas. En Alemania occidental en cambio, el gobierno tuvo un papel menos activo ya que se emitieron menos regulaciones, sin embargo hubo un impulso muy importante a través de campañas de información y consulta (Schipper 1987, Wilson et al. 1989).

En el caso de Francia por ejemplo, existen dos agencias gubernamentales que funcionan desde 1973 y que tienen la responsabilidad de la eficiencia y la conservación de energía (Agence pour les Economies d'Energie -AEE-, Commissariat pour l'Energie Solaire -COMES-) y una más que nació en 1981 y que es responsable del análisis y las políticas de conservación en el sector residencial, comercial e industrial (Agence Francaise pour la Maitrise de l'Energie -AFME-). En este país las políticas más importantes implementadas en el sector residencial fueron las regulaciones para la construcción de edificios comerciales y de vivienda. En Alemania, en cambio, no existe una institución federal especial dedicada a implementar políticas de ahorro y conservación de la energía

para todos los sectores<sup>34</sup>. En el sector residencial, las medidas de conservación se ejercen a través de agencias de consulta (Gutmanis 1993).

En general se pueden reconocer siete medidas de eficiencia y conservación de la energía para el sector residencial<sup>35</sup>: (a) Programas de información, (b) Estándares de regulación y eficiencia energética, (c) Administración de la Demanda (Demand Side Management (DSM)), (d) Precios y políticas fiscales y (e) Otros incentivos económicos, (f) Investigación y desarrollo y (g) Políticas no energéticas

### **5.2.1 Programas de Información**

Los programas de información incluyen una vasta gama de medidas que la mayoría los países de la OCDE han desarrollado y mantienen hasta la fecha. Entre ellos se encuentran los siguientes:

(a) **Campañas de información.** Diversos países han impulsado campañas de información para promover el ahorro y uso eficiente de la energía. En Alemania existen campañas de información al consumidor que le permiten seleccionar el equipo más eficiente apoyadas con oficinas de consulta regionales. En Dinamarca recientemente se inauguró una campaña que explica al público el problema del cambio climático global y los que se puede hacer para evitarlo. En el Reino Unido, la Oficina de Eficiencia Energética ha impulsado diversos seminarios para informar a la población las posibilidades en el ahorro de energía (IEA 1991). Es difícil evaluar con precisión los resultados de estos programas. Es posible pensar que contribuyeron al ahorro de la energía obtenido en los países, sin embargo existen pocos estudios que hayan hecho un análisis costo-beneficio que pudieran indicar la efectividad de estas campañas.

(b) **Las etiquetas** se han desarrollado básicamente en Estados Unidos, pero existe la posibilidad de su difusión en otros países Europeos. Estas consisten de anuncios en cada electrodoméstico en venta, que muestran al consumidor el uso y costo de energía anual de cada aparato (McMahon 1991).

---

<sup>34</sup>Después de 1973 y hasta 1989 funcionó una agencia para el sector industrial (Bundesminister für Wirtschaft), pero en 1990 esta institución dejó de funcionar (Gutmanis 1993).

<sup>35</sup>En este trabajo se sugiere una división similar a la elaborada por IEA (1991).

(c) **Elaboración de encuestas y entrevistas periódicas.** Información específica y certera acerca del uso de la energía es necesaria si se pretende promover la eficiencia, ya que el conocimiento de la demanda desde sus usos finales es indispensable para el diseño de programas de conservación. Países como Francia, Estados Unidos, Dinamarca y Japón han conformado comisiones especiales encargadas de elaborar encuestas y análisis del uso de energía residencial. En todos los países, el estudio más detallado de los usos eléctricos del sector residencial, es decir, información acerca de la saturación de electrodomésticos y del consumo unitario, ha sido una preocupación de las compañías eléctricas.

### **5.2.2 Estándares de Regulación y Eficiencia**

Los estándares que regulan la eficiencia energética para el sector residencial consisten de leyes que obligan a los constructores de edificios o productores de aparatos a cumplir una mínima norma de eficiencia energética. En la mayoría de los países de la OCDE se instituyeron estándares de aislamiento y construcción para los edificios construidos después del año de 1975.

En épocas recientes, varios países han renovado, o están en proceso de renovación de las regulaciones energéticas de los nuevos edificios. En 1990 en Inglaterra y Gales, por ejemplo, nuevos estándares fueron aprobados para los nuevos edificios del sector residencial, industrial y de servicios. En Suecia la renovación de los estándares se realizó en 1989 y en Estados Unidos en 1990. Dinamarca y Alemania también están considerando una renovación en esta regulación (IEA 1991).

A diferencia de las normas para edificios donde la mayoría de los países han establecido regulaciones obligatorias, los estándares para aparatos domésticos solamente han sido establecidos en los Estados Unidos. Los niveles mínimos obligatorios para un número importante de aparatos domésticos fueron establecidos en 1990 y serán renovados cada tres o cuatro años. La Tabla 5.2 muestra algunos de estos estándares. No ha pasado suficiente tiempo desde la institución de los estándares para analizar los efectos de esta política, sin embargo se esperan importantes ahorros en el mediano plazo.

Otros países como Alemania y Japón, han preferido establecer acuerdos voluntarios entre fabricantes y gobierno. En Alemania, por ejemplo, la industria de aparatos eléctricos estableció un acuerdo con el gobierno en 1980, comprometiéndose a

reducir el consumo de los aparatos entre 3 y 20% (de 1978 a 1985). De hecho, el objetivo fue sobrepasado, llegándose a ahorros de entre 15 y 30%. De acuerdo con los alemanes esto fue logrado debido a la importancia de la competencia entre los productores (IEA1990).

### **5.2.3 Administración de la demanda**

Durante años, las compañías eléctricas han tenido una visión desde la perspectiva de la oferta de la energía, jugando el rol de generar, transmitir y distribuir la electricidad. La administración de la demanda (o "*Demand Side Manegment DSM*"), que también puede ser utilizada por compañías de gas o petróleo, consiste en ver la eficiencia en el consumo de energía en los usos finales, como un elemento de suministro y de optimización de la misma.

Desde finales de los años setenta, las compañías eléctricas en los Estados Unidos y Canadá han estado involucradas cada vez más en programas de manejo y administración de la demanda que van desde la suavización de las curvas de demanda, hasta la posibilidad del aumento en la capacidad de suministro.

La motivación de las compañías eléctricas para involucrarse en estos programas tiene que ver con el aumento de los costos en la construcción y operación de las centrales, que van desde el incremento en el precio de los combustibles, la regulación ambiental o el aumento en las tasas de interés bancarias.

En general los programas de administración de la demanda incluyen consultas técnicas para el usuario, campañas de información, auditorías y programas de financiamiento para las nuevas tecnologías. En el sector residencial programas como la sustitución de focos incandescentes por lámparas compactas fluorescentes se han instrumentado en varios estados de los Estados Unidos a través de las compañías eléctricas (Mills 1991a). En la actualidad 43 estados de ese país tienen programas de administración de la demanda.

Desde 1986, el Departamento de Energía de los Estados Unidos, por ejemplo, ha manejado un programa que en aquel entonces tenía un presupuesto de cerca de un millón de dólares, dedicado a planeación de bajo costo para las compañías eléctricas (*Least-*

*Coast Utility Planning- LCUP*), que incluía como principal política, el manejo de demanda (IEA 1991). El programa comenzó con la idea de analizar la situación y necesidades de las compañías eléctricas y se fue expandiendo progresivamente hasta alcanzar a financiar proyectos. Se puede decir que el Departamento de Energía de ese país, ha servido como un catalizador que ha permitido la introducción de las políticas de DSM, compartiendo costos y riesgos con las compañías eléctricas y promoviendo la transferencia tecnológica.

Así mismo, la participación conjunta de las compañías eléctricas e instituciones de investigación del Departamento de Energía de los Estados Unidos, han desarrollado manuales con metodologías de ingeniería económica que permiten evaluar fácilmente las tasas de retorno, tiempos de reembolso, etc. de los programas de administración de la demanda, tal es el caso del manual desarrollado en el Lawrence Berkeley Laboratory (Krause & Etos 1987).

En este mismo sentido y debido a la preocupación ambiental, las comisiones reguladoras de los Estados Unidos han aceptado bonos de cierto porcentaje, que son incluidos en el costo de las inversiones en eficiencia energética. Tal es el caso por ejemplo de Wisconsin en donde se permite el uso de un 15% de tasa de descuento para el uso de recursos energéticos no fósiles, o en Oregón, donde se requiere un 10% adicional en los proyectos del lado de la oferta, etc. (Goldman et al. 1989).

En el caso de Canadá, la British Columbia Hydro, una de las compañías eléctricas, tiene planeado gastar cerca de 330 millones de dólares canadienses en los próximos veinte años para impulsar políticas en el sector residencial, comercial e industrial, tales como auditorías energéticas, sistemas de control de manejo de la demanda, financiamiento en el aislamiento de edificios y promoción de la eficiencia en refrigeradores e iluminación. Esta compañía espera ahorrar en las siguientes dos décadas cerca de 52.5 TWh (IEA 1991).

En el caso de Holanda, en 1990 las compañías de distribución eléctrica decidieron introducir un programa nacional de manejo de la demanda en su plan de acción ambiental. Este plan incluye estrategias de información y consulta acerca de programas de financiamiento para el aislamiento de edificios, compra de equipo de co-generación con apoyo gubernamental, y la promoción de focos compactos fluorescentes. En este país, las actividades del manejo de la demanda representan gastos anuales de cerca de 150 millones de dólares y se han permitido incrementar las tarifas eléctricas en un 2% para proveer estos fondos.

#### **5.2.4 Precios y políticas fiscales**

El precio de la energía es sin duda uno de los mecanismos más importantes en las políticas de eficiencia y conservación de energía. Es indiscutible el impacto que el cambio en los precios de la energía tuvo en las intensidades energéticas del sector residencial. Entre 1973 y 1985 el alto precio promovió la disminución de las intensidades y después de 1985, la caída en el precio está correlacionada con la disminución de la velocidad de decremento de las mismas.

Dependiendo del país, el costo de la energía está fijado por el costo marginal o por el costo histórico promedio. Además, diversos países tienen impuestos específicos para las distintas fuentes. Los países europeos se caracterizan por tener mayores impuestos al uso de la energía que Estados Unidos. Los impuestos son sin duda una forma de influenciar el consumo de energía a través de las señales del mercado. En la Figura 2.6 se puede apreciar la diferencia en los precios de la energía, debida esencialmente a los impuestos.

Dinamarca ha utilizado los impuestos al uso de la energía como política de promoción de la eficiencia y la conservación energética desde finales de los años setenta. A partir de 1992 en este país se instauró un impuesto asociado al contenido de carbón de los recursos energéticos que tiene como objetivo promover el uso de fuentes que no generen gases invernadero durante la combustión. De igual manera, Suecia y Noruega han empezado a implementar también los llamados impuestos del carbón.

A futuro, las perspectivas de posibles incrementos en el precio de la energía son inciertas. Varios factores sugieren que en el corto y mediano plazo el precio de la energía se mantendrá bajo, entre ellos se encuentran a) que la escasez de recursos fósiles parecerá tener importancia hasta después de las próximas dos décadas, b) el mercado petrolero mundial ha aprendido a manejar interrupciones temporales en el suministro de este hidrocarburo sin efectos económicos mundiales mayores (la experiencia de la guerra del Golfo Pérsico lo sugiere), c) la reforma de las compañías eléctricas en Estados Unidos y Europa puede generar nuevas formas de competencia que disminuyan, al menos en el corto plazo, el precio de la electricidad, d) el mayor suministro de petróleo mundial debido a la modernización de la industria petrolera en Rusia.

De acuerdo con Schipper et al. (1992a), hasta el periodo del 2010 es difícil imaginar un aumento importante en el precio de la energía, a menos que ocurra un

desastre ambiental mayor al de Chernobyl o una guerra en el Medio Oriente de mayor duración y gravedad para el suministro de petróleo que la del Golfo Pérsico. En este contexto, los impuestos asociados al uso de la energía, especialmente los ambientales asociados al cambio climático global serán la causa central de incrementos significativos en el precio de la energía para los usuarios residenciales y de otros sectores.

### **5.2.5 Otros incentivos económicos**

Además de los precios de la energía, muchos gobiernos han establecido otros incentivos económicos como impuestos préstamos de bajo interés, deducción de impuestos y facilidades de compra para la adquisición de aparatos domésticos más eficientes o mejores condiciones de aislamiento para las viviendas. Uno de los problemas más importantes para que un usuario de la energía decida invertir en eficiencia son los altos costos iniciales de inversión. Estos programas permiten que el usuario pueda solventar dichos gastos con ayuda financiera del gobierno o de las compañías energéticas. Tal es el caso, por ejemplo, de la venta a plazos de lámparas compactas fluorescentes realizada por compañías eléctricas como la "Pacific Gas and Electric" del Norte de California en los Estados Unidos. Suecia, Italia, Noruega, Dinamarca y Francia también tienen una importante experiencia en este sentido. Diversos estudios (IEA 1991) de cada país sugieren la necesidad de una evaluación financiera inicial de los proyectos para no hacerlos caros e inaccesibles.

Incentivos económicos para las compañías productoras de electrodomésticos también son importantes. En la actualidad, por ejemplo, Suecia y los Estados Unidos abrieron un concurso para el refrigeradores eficiente (sin uso de clorofluorcarbonados). El ganador tendrá garantizada una importante venta inicial de su producto (ACEEE 1991).

### **5.2.6 Investigación y desarrollo**

Los presupuestos para investigación y desarrollo permiten apoyar el desarrollo de nueva tecnología de usos finales. En general la investigación y desarrollo se realiza en forma conjunta entre los gobiernos y las compañías privadas. La participación de los primeros es indispensable por la importancia del presupuesto federal, la absorción de riesgos y la visión a largo plazo. En la actualidad programas importantes de investigación y desarrollo de refrigeradores eficientes se realizan en Estados Unidos ("*Golden Carrot*")

(ACEEE 1991)), y Suecia (*Teknik Upphandling* (NUTEK 1993a)). En ambos casos los programas consisten, a grandes rasgos, de la apertura de una competencia por parte del gobierno a las compañías de electrodomésticos para diseñar refrigeradores eficientes que funcionen sin gases clorofluorcarbonados. El ganador de la competencia tiene asegurado un mercado cautivo de cierto número de refrigeradores. Asimismo el gobierno otorga ayuda financiera para la realización del proyecto.

Cabe destacar que en los últimos años los presupuestos gubernamentales para investigación y desarrollo de tecnología energética cayeron de manera importante, debido a la falta de interés de los gobiernos producto de los bajos precios de la energía. Sin embargo los problemas ambientales sugiere la posibilidad de una alza en estos presupuestos.

### **5.2.7 Políticas no energéticas**

En ocasiones, políticas residenciales, que no fueron concebidas como políticas de eficiencia y conservación de energía han tenido un importante efecto en el consumo de energía. El caso más claro en este sentido es la política de desarrollo de viviendas en Suecia. Durante muchos años, la política fiscal favoreció la construcción de departamentos en vez de casas individuales (Schipper et al. 1985). Debido a que un departamento utiliza mucho menos energía para calefacción que una casa (tiene menos paredes en contacto con el exterior), la política de vivienda favoreció el ahorro de energía. De acuerdo con Schipper & Hawk (1991), esta política fue más importante en el uso de la energía residencial en Suecia que muchas otras medidas energéticas.

## **5.3 Barreras para el mejoramiento de la eficiencia energética**

A pesar de que el potencial de introducción de tecnologías eficientes es innegable y en muchos casos costeable, existen barreras que impiden su difusión<sup>36</sup>. Es evidente que dependiendo del país y de la penetración de la tecnología eficiente las barreras son distintas o similares, pero adquieren características particulares. Entre las más mencionadas se encuentran la falta de información, el precio de la energía y las inercias institucionales.

Un elemento adicional que en este caso se menciona como una barrera al uso eficiente de la energía, son los estilos de vida. Estos tienen que ver, entre otros factores, con los patrones culturales de cada nación y con las decisiones y comportamiento individual o en grupo de los consumidores.

### **5.3.1 Falta de Información**

Como se ha mencionado ya en diversas ocasiones, la falta de información de los consumidores es un elemento que actúa muchas veces en contra del aumento en la eficiencia energética. La explicación extrema la plantean los modelos convencionales de la teoría económica clásica (Krause & Eto 1987). De acuerdo con ellos, en un mercado perfecto, los consumidores invertirían en conservación y manejo de carga motivados por conveniencia personal al comparar inversiones y oportunidades alternativas. La no ocurrencia de este fenómeno se debe, de acuerdo con estos modelos, a las fallas en el mercado, entre las que se encuentra la carencia en la difusión de la información, lo que involucra educación del usuario.

Aun cuando pueda estarse en desacuerdo con esta teoría, es evidente que la falta de información acerca de los beneficios a largo plazo del uso de estos aparatos eficientes (períodos de reembolso, costos de la energía ahorrada, etc.), hace que un usuario no invierta en la conservación de energía.

---

<sup>36</sup>Diversos autores, guiados por la economía clásica, llaman a esto fallas en el mercado (Levin et al. 1994).

### **5.3.2 Costos**

Una de las barreras más grandes para la inversión de tecnología más eficiente desde el punto de vista del usuario es el alto costo inicial de la misma, comparada con la tecnología convencional. Uno de los ejemplos más drásticos es la diferencia de más de diez veces entre el foco incandescente y la lámpara compacta fluorescente. Programas de información del costo total, incluido el ahorro de energía, así como facilidades de compra de estos aparatos proporcionadas por las compañías energéticas o los gobiernos pueden disminuir estos obstáculos.

A nivel nacional, el análisis de la factibilidad económica de una o varias alternativas, medidas o políticas de conservación, debe ser desarrollado con una metodología de análisis por usos finales, tomando en cuenta el punto de vista de la oferta y la demanda de energía. En muchas ocasiones los análisis macroeconómicos costo-beneficio no permiten apreciar la importancia de las medidas y se convierten en un obstáculo para la eficiencia energética.

### **5.3.3 Precios de la energía**

La factibilidad económica de una alternativa eficiente depende en gran medida del precio de la energía. El alto precio de la energía actúa en dos sentidos. En el largo plazo, promueve la generación de tecnología más eficiente, pues induce en los fabricantes, la necesidad de producir equipos que consuman menos energía. En el corto plazo, promueve el ahorro de energía, disminuyendo el uso innecesario de la misma (disminución en las temperaturas de calefacción, apagado de luces, etc.). Como se mencionó en el capítulo 3 de este trabajo, los precios de la energía tuvieron un profundo impacto en las intensidades energéticas del sector residencial. La importante caída del consumo de energía para calefacción en 1974-75 y en 1979-81 fue claramente producto de los precios altos. De la misma manera, el freno en la disminución de la intensidad energética fue producto de la disminución en los precios.

Ciertamente los bajos precios de la energía pueden ser vistos como una barrera en la eficiencia energética. Sin embargo, cuando se menciona esto, no puede, en particular, dejarse de lado el efecto que los altos precios de la energía pueden tener, en particular, en la población de menores ingresos.

### **5.3.4 Inercia institucional**

Ejemplos de la inercia institucional son las políticas fiscales que actúan en contra de la eficiencia energética y que por su antigüedad son difíciles de cambiar. Otra inercia más relacionada con las compañías energéticas, es su tradicional visión del suministro de energía desde el punto de vista de la oferta. Esto ha cambiado en varios de los países de la OCDE, pero aún permanece en diversas compañías de gas y eléctricas (IEA 1991).

De acuerdo con varios autores (Lovins & Lovins 1989, Nadel 1992) uno de las formas de romper la inercia al cambio radica en convencer a los ejecutivos de estas grandes compañías de la viabilidad y beneficios de los proyectos de conservación de energía a través del manejo de la demanda. Para ellos, la conservación sólo significará menos ganancias y es una labor que no les corresponde. Como Reddy (1991) sugiere, una forma de involucrar a las compañías es mostrando como la administración del lado de la demanda genera un nuevo mercado de servicios que las compañías eléctricas están capacitadas para cubrir.

### **5.3.4 Estilos de vida**

La relación entre el estilo de vida y el uso de la energía es un tema muy extenso y por demás interesante que no pretende ser analizado en profundidad en este trabajo. El objetivo de este apartado es describir algunos elementos relacionados con el estilo de vida familiar de las familias en algunos países de la OCDE que han presionado para el aumento del uso de la energía en el sector residencial.

A nivel de un país, como lo mencionan Schipper et al. (1989 y 1991), la energía ha pasado a representar un papel mayor en el placer que en la producción. Esto significa que tanto el confort o comodidad como el aumento en los viajes en automóviles privados han llegado a representar un porcentaje mayor en el aumento del uso de la energía que la industria manufacturera. La explicación de este proceso descansa en los cambios económicos de la industria y otros sectores, pero también en lo que Schipper llama las decisiones en el estilo de vida.

Las decisión de una familia de tener un estilo u otro de vida depende esencialmente del ingreso, del acceso a los servicios, de patrones culturales, de las decisiones individuales y de los incentivos gubernamentales. A lo largo de los últimos veinte años

por lo menos dos fenómenos relacionados con la decisión de un determinado estilo de vida de la mayoría de las familias de la OCDE actuó en contra del ahorro de energía: el aumento en la superficie de las viviendas y el aumento en el tamaño y características de los electrodomésticos.

Ciertamente las políticas fiscales y los precios de la energía fueron elementos que permitieron que este fenómeno ocurriera, pero una decisión individual socializada por los patrones sociales de consumo es una componente importantísima en la ocurrencia de este fenómeno. Existe una filosofía social, principalmente en los Estados Unidos, que equipara el éxito de una familia con casas y refrigeradores más grandes. Sin poner a discusión el derecho de un consumidor a escoger entre una variedad de productos, es importante resaltar el costo que determinado estilo de vida puede tener, sobre todo a la luz de los problemas ambientales y el cambio climático global.

Qué tanto es una barrera al uso eficiente de la energía la tendencia a mayores lujos en la forma de vida y que tanto debía pagar una familia que quisiera continuar con ese estilo de vida, son preguntas que a la luz de los problemas ambientales se hacen cada vez más comunes en la decisión del impulso a las políticas de eficiencia y conservación de energía

#### **5.4 Políticas relacionadas con los efectos en el ambiente**

En la actualidad existe una preocupación internacional acerca de la posibilidad del aumento de la temperatura del planeta y el cambio climático que pueda generar. Como se menciona anteriormente, la producción y uso de la energía representan la fuente más importante de las emisiones de gases invernadero. La definición de políticas y mecanismos que permitan disminuir el riesgo de una catástrofe de este tipo se han convertido en el impulso más importante de las políticas de eficiencia y conservación de energía de los años noventa. En este contexto, el debate acerca de la intervención gubernamental en la definición de las políticas deja de ser un mero ejercicio teórico y descansa incluso en lo que llaman Howarth & Monahan (1992), la economía y la ética del cambio del global.

En el capítulo 4 de este trabajo se presentaron los resultados del cálculo de las emisiones de los principales gases invernadero debidas al consumo de energía residencial

en los países de la OCDE y se analizaron con mayor detalle las emisiones de bióxido de carbono. Como se menciona en ese apartado, todos los países con excepción de Italia y Japón, disminuyeron la emisión de bióxido de carbono en las últimas dos décadas. Esta reducción fue debida a diversas causas, entre las que se encuentran la disminución en las intensidades energéticas, la sustitución del uso del carbón y el petróleo por gas y electricidad y el aumento en el uso de combustibles no fósiles en la producción de electricidad (principalmente la energía nuclear).

En general, se puede decir que las políticas de conservación y eficiencia en el uso de la energía disminuyen la emisión de gases invernadero. Sin embargo, este planteamiento no siempre es cierto. Para poder hacer un análisis global del efecto ambiental del uso de la energía residencial debe tomarse en cuenta la energía primaria y por lo tanto la generación de electricidad y calefacción distrital, de lo contrario puede suceder, como en Dinamarca, que la importancia en la disminución de las emisiones debidas a la reducción en las intensidades energéticas se vio opacada por el aumento en el uso del carbón para la generación de electricidad.

Por otro lado, el importante aumento de la electricidad producida por energía nuclear ha permitido, indiscutiblemente, la disminución de la emisión de gases invernadero. Sin embargo, ha implicado otro tipo de riesgos ecológicos relacionados principalmente con la posibilidad de accidentes nucleares y la disposición de los desechos radioactivos<sup>37</sup>.

En realidad, la manera más sustentable de uso y producción de energía es por medio del uso eficiente de los recursos renovables. Sin embargo, el actual bajo precio de la energía generada a través de los recursos fósiles hace difícil el desarrollo de las fuentes renovables, al igual que la inversión en tecnología más eficiente.

Por esta razón, el desarrollo de políticas de control de la contaminación y gases invernadero se hacen indispensables. Estas medidas, que en la actualidad se discuten internacionalmente (pues sobrepasan los marcos de cada nación) deben concebirse globalmente, aunque tomando en cuenta las especificidades de cada país y de cada sector. A este respecto, existen tres principales aproximaciones a las políticas de control de la

---

<sup>37</sup>A la luz del posible cambio climático en el planeta, los riesgos y los problemas relacionados con el uso de la energía nuclear, han pasado a segundo plano en la discusión internacional.

emisión de gases invernadero que pueden resumirse en a) estándares, b) impuestos, y c) instrumentos de mercado.

#### **5.4.1 Regulaciones y estándares en las emisiones**

Existen diversas formas de regular la cantidad de emisiones por sector y fuente en cada país. En realidad existe una importante experiencia al respecto en los países de la OCDE. En estos países se han emitido importantes leyes ambientales que limitan la emisión de algunos contaminantes. La discusión a este respecto radica en encontrar la fórmula mas adecuada para reducir emisiones y estimular el uso eficiente de la energía (IEA 1991, 1992). El caso del control de emisiones de los vehículos, mediante pruebas periódicas, o el control de las emisiones de azufre en las plantas carboeléctricas, son de los ejemplos más comunes en relación estándares de emisión. En ambos casos el límite o estándares de las emisiones es fijado por agencias ambientales de los gobiernos.

#### **5.4.2. Impuestos**

La medida que hasta el momento tiene más consenso entre las sugerencias discutidas en la cumbre de la Tierra en Río, es el impuesto del carbón. Este impuesto, inclusive, ya ha sido instituido en algunos países (Suecia y Dinamarca por ejemplo). Este consiste en aumentar el precio de la energía de los combustibles fósiles de acuerdo con el contenido de carbón. Diversos escenarios, entre los que se encuentran aquellos elaborados por la IEA sugieren que el impuesto de carbón podría llegar a reducir la emisión de bióxido de carbono de entre un 7% a un 13% (dependiendo del valor del impuesto) en relación al escenario base (aunque seguirían representando un incremento en la emisión respecto a su valor de 1970). Como parte de un análisis de sensibilidad realizado por la IEA (1991) se encontró que este impuesto implicaría un aumento de entre 8 y 16 dólares por barril de petróleo, entre 45 y 90 por una tonelada métrica de carbón y entre 1 y 2 dólares por GJ de gas natural. Mayor discusión sobre este tema puede encontrarse entre otros en Howarth & Monahan (1993), Nordhaus (1991), Parry (1990), Koomey (1990), Grubb (1990).

### **5.4.3 Instrumentos de mercado**

Las propuestas más conocidas que promueven la utilización de mecanismos de mercado para limitar las emisiones de gases invernadero son los programas de comercialización de emisiones (Lovins & Lovins 1991). Este mecanismo consiste en el establecimiento de normas mínimas para las emisiones de contaminantes para todas las empresas. Si una empresa emite menos que el estándar, esta tiene la posibilidad de vender el espacio de contaminación que no está emitiendo. Mayor discusión sobre estas alternativas puede ser encontrada en las referencias citadas en la sección 5.4.2.

## **Parte II MÉXICO**

### **Capítulo 6**

#### **Tendencias históricas del uso de la energía residencial en México**

Una vez analizado el uso de la energía residencial y las políticas de conservación más importantes en los países OCDE, este estudio se enfocará a analizar el uso de la energía residencial en México. Para ello se seguirá una organización similar a la de la parte inicial. Primero se mostrará cual ha sido el comportamiento de los principales factores estructurales y económicos que afectan el uso de la energía en México (i.e precio, ingreso, tamaño de la población, etc.). En segundo término se analizarán las tendencias de cambio del uso agregado de la energía residencial. Finalmente, para profundizar más en el análisis, se desagregará el uso de la energía en sus usos finales más importantes.

Antes de proceder con el análisis descrito, es conveniente mencionar las fuentes originales en las que se basa esta parte del trabajo, así como las dificultades asociadas a la carencia o inaccesibilidad de datos sobre el uso de la energía residencial por usos finales en México. La siguiente sección describe esta problemática.

#### **6.1 Referencias originales**

En México, a diferencia de los países de la OCDE, son muy pocas las encuestas realizadas con el objetivo de estimar el consumo de energía en los hogares. En general, el

estudio energético del sector residencial ha estado tradicionalmente implícito dentro de proyecciones agregadas a nivel de los sectores residencial, comercial y público. El hecho de que solamente hasta 1987 el sector residencial apareciera como sector independiente dentro de los balances de energía o de que no sea sino hasta mediados de los años ochenta que se incorpora la leña a la contabilidad energética nacional, ilustran el papel relativamente secundario que se ha concedido a este sector (SEMIP 1966-85 y 1987, Masera et al. 1991). Esta carencia de información, hace difícil la realización de un análisis histórico desagregado que describa en detalle la evolución de los usos finales de la energía de este sector.

No obstante, existen algunos estudios que han realizado estimaciones desagregadas del uso de energía residencial. Entre estos destacan: el trabajo de Masera, de Buen y Friedmann (1991) que representa la primera estimación del uso de la energía residencial por usos finales a nivel nacional, el de Willars y Heredia (1990) basado en una encuesta del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), el de Rodríguez (1990) que basado en una encuesta representativa describe la relación entre uso de energía y gasto en el sector residencial, el de Mendoza y Dutt (1990) que es quizá la primera estimación cuantitativa de los usos finales residenciales en México y la compilación realizada por PUE-ERG (1991).

En el caso del subsector rural el trabajo coordinado por Martínez para la Secretaría de Energía Minas e Industria Paraestatal (SEMIP 1988) y el de autores como Evans (1984), Masera et al. (1989), Dutt y Navia (1989), Masera (1994), representan un importante esfuerzo en la determinación del consumo de energía rural por usos finales. Adicionalmente existen otros trabajos que proporcionan información por usos finales específicos como por ejemplo, para el caso de refrigeración, Campero (1991) y para iluminación el de Sheinbaum (1991), Friedmann (1991), y Blanc (1991), o encuestas locales como las realizadas por Fernández (1991) y Rodríguez (1991).

Los datos originales en los cuales se basan la mayoría de estos trabajos son los Censos Nacionales de Población y Vivienda (INEGI 1970, 1980, 1990), los Balances de Energía de la SEMIP (1970-1990), publicaciones e información proporcionada por la Asociación de Fabricantes de Aparatos Domésticos, la Encuesta Rural realizada por SEMIP, la encuesta realizada por el IMP, la encuesta realizada por el Centro de Estudios Energéticos A. C. (Rodríguez 1991) y los informes de Comisión Federal de Electricidad (CFE).

En los siguientes capítulos se estiman los cambios por usos finales de la energía en el sector residencial mexicano entre 1980 y 1990. Asimismo se analiza el uso total per cápita y por fuentes de la energía de 1970 a 1990. Para ello se parte del trabajo desarrollado por Masera et al. (1991) para el año de 1987 y se amplía a una estimación tendencial para los años de 1980 y 1990, con base en datos adicionales de la CFE, de los Censos de Población y Vivienda y de las ventas de aparatos domésticos.

Es importante mencionar que los estudios realizados hasta la fecha, incluido el que se presenta en los siguientes capítulos, son tan sólo una estimación del uso de energía residencial por usos finales. El conocimiento detallado del uso de la energía del sector residencial mexicano requiere de la tarea urgente de la integración de una base de datos nacional basada en encuestas y mediciones periódicas de la demanda por usos finales.

## **6.2 Factores económicos, estructurales y de población.**

### **6.2.1 Factores económicos**

Como se vio en el capítulo 2, la demanda final de un bien está determinada por la relación entre los denominados factores económicos (precio e ingreso), factores de población, estructurales y culturales. En México, como en otros países de Latinoamérica, el estudio de los factores económicos adquiere características peculiares debido a la desigualdad en la distribución del ingreso y al subsidio que durante muchos años, el gobierno ha otorgado a los precios de los principales energéticos comerciales (Gas LP y electricidad). Estos factores económicos se analiza en los siguientes incisos.

#### **6.2.1.1 Ingreso**

La evolución del ingreso, así como la distribución del mismo, son variables útiles en la explicación del comportamiento histórico del consumo de energía. (Donnelli 1990). La Figura 6.1 muestra la variación del ingreso medio<sup>38</sup> y del salario mínimo per cápita en México entre 1970 y 1990. Como puede observarse, durante la década de los setenta ambos ingresos tuvieron una tasa de crecimiento real promedio positiva, siendo mayor

---

<sup>38</sup>El ingreso medio es obtenido de los datos de NAFINSA. Se refiere al salario medio profesional nacional. Este es promedio pesado entre salario por profesión y el número de personas por profesión por región.

para el salario medio que para el mínimo (2.2% y 1.4% respectivamente). Sin embargo, entre 1980 y 1990, el salario medio cayó a una tasa anual promedio de 1.8% y el mínimo a una de 3.8% (Apéndice 3). Esta tendencia histórica fue muy diferente a la de los países de la OCDE donde los salarios medios reales se incrementaron durante las décadas de los setenta y ochenta.

### Salario medio y salario mínimo promedio anual en México

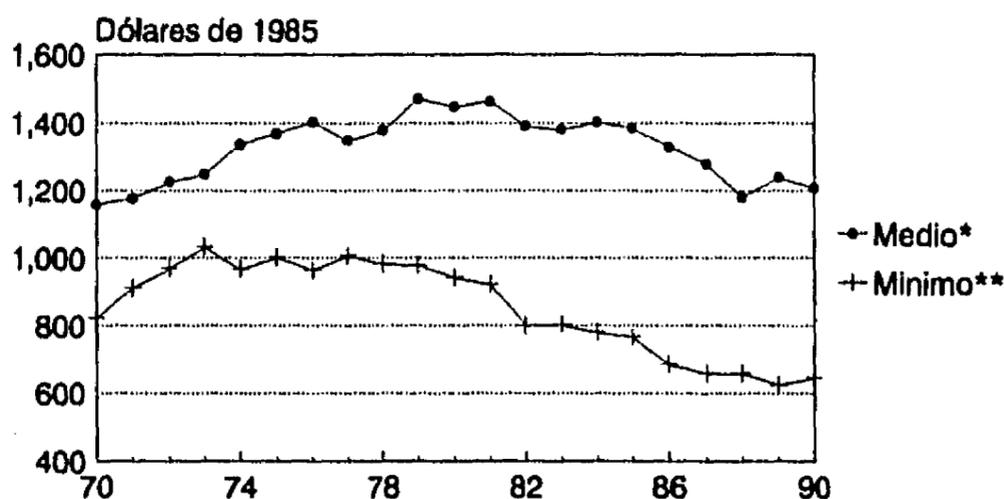


Figura 7.1

Pesos constantes de 1985 y paridad dolar-peso de 1985 (447.5) (Apendice III)  
 \*Remuneración media anual por persona ocupada por actividad económica  
 \*\*Promedio por regiones. Fuente: NAFINSA

Esta caída del salario real mexicano, provocada por la recesión económica de los años ochenta y las políticas de ajuste estructural, dieron como resultado un empobrecimiento de la población y un acentuamiento de la inequidad en la distribución de la riqueza. De acuerdo con datos del Banco de México (1989), la participación correspondiente a salarios en el PIB pasó del 35.2% en 1970 a 25% en 1989 (Guzmán & Vela 1992). Para 1990, 43% de la PEA ganaba de uno a dos salarios mínimos (de 3.5 a 7 dólares diarios), 49% percibía entre dos y cinco y tan sólo el 8.2% adquiría más de cinco salarios mínimos. Es decir, para 1990 menos de la mitad de la población económicamente activa (PEA) del país, ganaba lo necesario para adquirir la canasta básica (INEGI 1989, Madisson 1991).

Ante la caída del poder adquisitivo de la población, la proporción del gasto familiar destinada a la energía se incrementó. De acuerdo con el estudio de Rodríguez y con la encuesta ingreso-gasto de INEGI, mientras menor es el ingreso familiar, menor es el consumo familiar por fuente comercial y mayor es la proporción del salario destinado a energía (Rodríguez 1991, INEGI 1983).

#### **6.2.1.2. Precio**

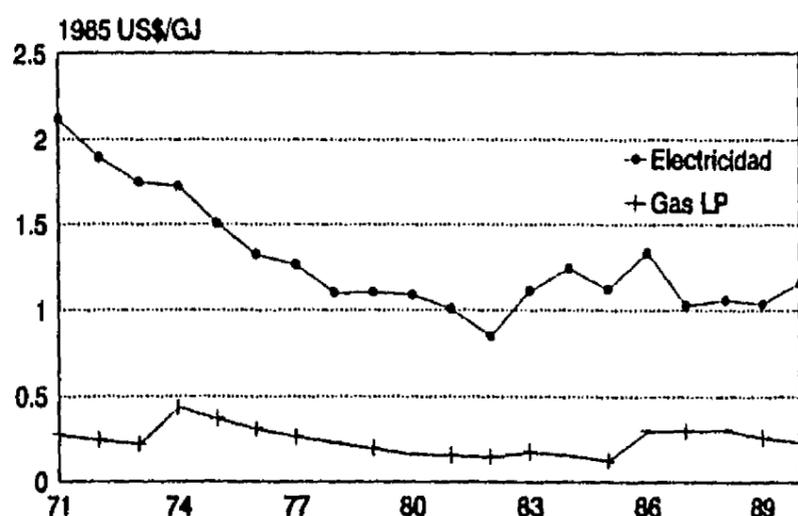
Los energéticos utilizados más comúnmente en el sector residencial mexicano son la leña, el gas licuado de petróleo (gas LP), el petróleo diáfano, el gas natural y la electricidad. A pesar de que el primero representa más del 40% del consumo de energía del sector, es casi imposible asignar un precio comercial a este energético. Esto es debido a que la principal forma de obtención de la leña es por recolección de los propios usuarios y en el caso de su venta los precios varían dependiendo de la región. Por esta razón a la leña se le denomina un energético no comercial. Debido a que el gas LP y la electricidad representan, después de la leña, los energéticos más importantes del sector, se analiza la evolución en los precios de estas dos fuentes de energía.

Los precios de la energía comercial, es decir, la electricidad y los derivados del petróleo, los define la Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Desde la expropiación de la industria petrolera (1938) y de la industria eléctrica (1964) y hasta principios de la década de los setenta, los precios de la energía correspondieron a un modelo de desarrollo basado en la protección del Estado a la industrial nacional. Esto significó un precio preferencial o subsidiado de los bienes proporcionados por las empresas energéticas públicas.

En 1974, el aumento internacional en el precio del petróleo provocó un ajuste de los precios internos, que derivó en un aumento real de los precios del petróleo utilizado en el sector residencial (Gas LP y Petróleo diáfano). Este ajuste, sin embargo, fue menor que el aumento real de los precios internacionales debido principalmente a que México era un país productor de hidrocarburos y a la política proteccionista del gobierno mexicano. La Figura 6.2 muestra la evolución del precio real del gas LP y la electricidad (a dólares de

1985)<sup>39</sup> de 1971 a 1990, que son los energéticos comerciales más importantes del sector (CFE 1992).

### Precios de la Energía en México



Fuente: Elaboración propia. Datos (CFE 1990).

Entre 1974 y 1978, la caída promedio del precio real del gas LP fue de 16% anual. Esta caída tuvo una ligera disminución durante el "boom petrolero" debido principalmente al aumento internacional del precio del petróleo, alcanzando un promedio de disminución anual del 11% entre 1978 y 1982.

Después de 1982 el gobierno mexicano reorienta su política económica hacia un menor control y protección estatal sobre la economía. Esto derivó en un menor subsidio estatal hacia el precio de los hidrocarburos y la electricidad. El precio real del gas LP aumentó a una tasa de 18% entre 1982 y 1986 con una ligera caída en 1984. A mediados de la década de los ochenta, una inflación superior al 100% promovió el establecimiento de un pacto económico de control de precios y salarios. Esto provocó una nueva disminución del precio de los hidrocarburos. Entre 1986 y 1990 el precio real del gas LP disminuyó a una tasa promedio anual del 6%.

<sup>39</sup>Promedio de venta a dólares constantes de 1985.

En el caso de la electricidad, la evolución del precio real promedio en el sector residencial fue similar a la del gas LP aunque sin un aumento en 1974. De esta forma, la electricidad disminuyó a una tasa promedio anual de 8% entre 1971 y 1982 y aumentó a una tasa de 11% entre 1982 y 1986. El pacto económico generó una nueva disminución de 3.5% anual entre 1986 y 1990. Sin embargo, los cambios en el precio del kWh eléctrico residencial, a diferencia del gas LP, son desiguales dependiendo del nivel de consumo del usuario ya que las tarifas están divididas en bloques de consumo y cada bloque representa un costo diferenciado.<sup>40</sup> Los bloques de consumo son incluyentes; por ejemplo, un usuario de la tarifa 1 que consume más de 201 kWh al mes paga el precio de cada kWh de los primeros 25 kWh de consumo mensual, el precio de cada kWh de consumo que este comprendido entre 26 y 50 kWh mensuales, y así hasta completar su consumo mensual.

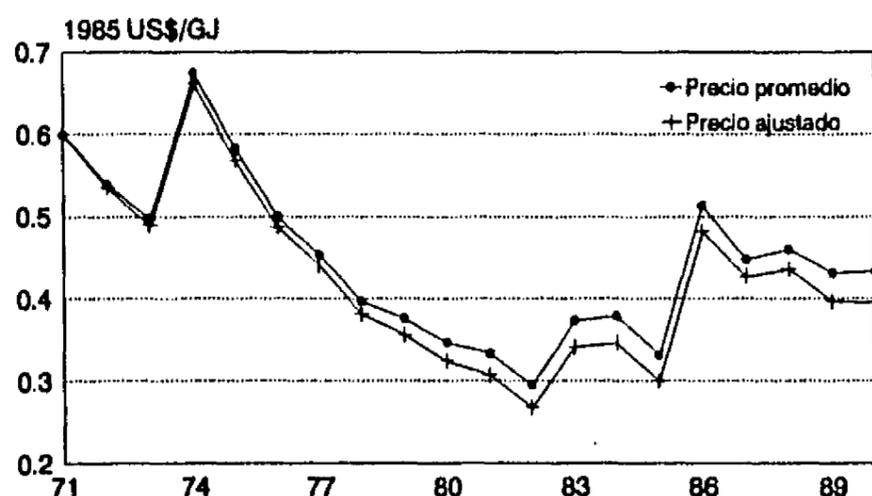
A partir de 1989, el máximo bloque de consumo de todas las tarifas residenciales representa el valor más cercano al costo marginal de la electricidad para el sector. Esto significa que todos los consumidores del sector residencial están subsidiados en mayor o menor medida y que por ejemplo en el caso de la tarifa 1, sólo aquellos usuarios que llegan a consumir más 201 kWh al mes, pagan el valor marginal de la electricidad en ese bloque.

La Figura 6.3. muestra el precio promedio del gas LP y la electricidad en el sector residencial. Una de las líneas en la figura corresponde al precio promedio pesado por el consumo real y la otra línea representa la variación en el precio manteniendo constante el consumo a su valor de 1973. Como se puede apreciar, ambas líneas son muy similares pero tienden a separarse a partir de 1978-79. Esto se debe al incremento de la importancia de la electricidad en la energía final, y a que este energético vale más que el gas LP por unidad de energía (en este caso, GJ). Mientras la proporción de gas LP en la energía final se multiplicó por dos entre 1971 y 1990, la de la electricidad se incremento casi en tres. Una situación similar, aunque más marcada ocurrió en los países de la OCDE (ver Figuras 2.6 y 2.7).

---

<sup>40</sup> De 1971 a 1986 existieron dos tarifas residenciales. "1" y "1a", donde la "1a" corresponde a las regiones que en verano tienen una temperatura media mínima de 25°C. En 1987 se agregan dos tarifas más. La "1b" y "1c" que corresponden a climas de temperatura mínima de verano mayor de 28 y 30°C respectivamente. A partir de 1990 se agrega una tarifa extra. La "1d" que es para las zonas con temperaturas mínimas de verano mayores a 32°C.

## Precios de la Energía en México



Elaboración propia. Datos (CFE 1990).

### 6.2.3 Factores de población y estructurales

#### 6.2.3.1 Tamaño del hogar

Entre 1970 y 1990 la población mexicana creció de 48.2 a 81.3 millones de habitantes. Este importante incremento, sin embargo, hubiese sido mayor de no ser por la disminución en el ritmo de crecimiento poblacional durante la década de los ochenta. En efecto, la tasa de crecimiento promedio anual de la población mexicana, al igual que el número de hogares, sufrió una importante disminución entre la década de los setenta y la de los ochenta, como lo muestra la Tabla 6.1. Sin embargo en todo el periodo se mantuvo la característica de que el número de viviendas creció más rápidamente que la población. Este fenómeno, característico también de los países desarrollados, es posible describirlo a través de la disminución del tamaño de los hogares. Mientras que en 1970 el tamaño promedio del hogar mexicano era de 5.8 personas por viviendas, este se redujo a 5 en 1990.

Dividiéndolo por subsectores urbano y rural y de acuerdo con los censos de población y vivienda (INEGI 1970, 1980, 1990), el crecimiento poblacional fue mayor en el subsector urbano que en el rural debido a la importante migración campo-ciudad. Adicionalmente, el número de habitantes por hogar disminuyó más rápidamente en las ciudades de tal manera que el tamaño promedio del hogar en el subsector urbano disminuyó de 5.8 personas por vivienda en 1970 a 4.9 en 1990, mientras que en el rural

de 5.8 a 5.7 personas por vivienda para el mismo periodo<sup>41</sup>. Esta diferencia entre el subsector rural y el urbano tiene importantes repercusiones en las variaciones del consumo de energía.

**Tabla 6.1**  
**Población y Vivienda Urbana y Rural en México**  
**(Millones)**

	1970	1980	1990	TCPA* 1970-80	TCPA* 1980-90
<b>Población urbana</b>	28.3	44.4	58.0	4.5%	2.7%
<b>Vivienda urbana</b>	4.9	8.2	12.0	5.3%	3.7%
<b>Población rural</b>	19.9	22.4	23.3	1.2%	0.4%
<b>Vivienda rural</b>	3.4	3.9	4.1	1.3%	0.5%
<b>Población total</b>	48.2	66.8	81.3	3.3%	2.0%
<b>Vivienda total</b>	8.3	12.1	16.1	3.8%	2.8%

\*Tasa de crecimiento promedio anual

Fuente : INEGI

#### 6.2.3.2 Asimetrías entre el subsector urbano y rural

En 1970 el 41% de la población mexicana vivía en comunidades rurales<sup>42</sup>. La importante migración campo-ciudad y el propio crecimiento de la población urbana provocaron una disminución en la importancia energética relativa del subsector rural. Para 1990 solamente el 29% de los mexicanos vivían en poblaciones menores a los 2500 habitantes y 35% en las cinco ciudades más pobladas (INEGI 1990). La diferencia en el crecimiento urbano y rural fue acompañado por una importante asimetría en la penetración de los servicios. Mientras que en 1970, el 81% de las viviendas urbanas contaban con luz eléctrica, solamente el 30% de las rurales tenía acceso a este servicio. Después de 20 años, la electrificación llegó al 97% de las viviendas urbanas y solamente al 60% de las rurales (INEGI 1970, 1980, 1990).<sup>43</sup>

Una situación similar ocurrió con la distribución de los energéticos comerciales. La mayoría de la población rural no ha tenido la oportunidad de optar por un combustible alternativo a la leña, ya sea por la carencia de carreteras accesibles al transporte de

<sup>41</sup>Es difícil asumir, como muestran los datos del censo de 1970, que el tamaño del hogar promedio urbano y rural era el mismo para 1970. Sin embargo en ausencia de otras encuestas nacionales se utiliza este dato.

<sup>42</sup>Se asume que la población rural es aquella que vive en poblaciones menores a los 2500 habitantes.

<sup>43</sup>Una situación similar se vive en otros países de Latinoamérica. La electrificación urbana en la mayoría de estos países es del 100% mientras que la rural es del 57% para Brasil, 72% para Costa Rica, 79% para Venezuela y 40% para Guatemala (Kettof & Masera 1991, Figueroa et al. 1992).

energéticos comerciales o por la inaccesibilidad económica de los aparatos domésticos.<sup>44</sup> Entre 1970 y 1990 la proporción de viviendas urbanas que utilizaban la leña como principal energético para la cocción de alimentos disminuyó de 20% a 4%, mientras que la proporción de viviendas rurales con esta misma característica se mantuvo en cerca del 72%.<sup>45</sup>

Un factor adicional en la desigualdad campo-ciudad lo constituye las diferencias regionales. Mientras en 1990 en el centro y sur del país se concentraban el 77% de la población rural, en el Norte del país la población rural inclusive disminuyó en cerca de un 0.5% durante la década 1980-1990.<sup>46</sup> La importante urbanización del norte de la república, aunada al crecimiento poblacional, al clima extremo y a la accesibilidad de aparatos eléctricos adquiridos en los Estados Unidos, representa una importante presión para la demanda de energía residencial en la región<sup>47</sup>

### 6.2.3.3 Tamaño de las viviendas

El tamaño físico de la vivienda influye en el consumo de energía para calefacción, aire acondicionado e iluminación, ya que mientras mayor sea la vivienda, más energía será utilizada. En el caso de México, debido a que el uso de energía para calefacción no es significativo y a que el aire acondicionado apenas empieza a tener importancia en el norte de la República, el aumento o disminución en el tamaño promedio de la vivienda afecta principalmente el uso de energía para iluminación.

---

<sup>44</sup>El uso de la leña está asociado a costumbres en la cocción de alimentos, como es el caso de las tortillas (Masera et al 1988, Evans 1985, Navia 1991). El uso de uno u otro energético es una decisión de cada habitante. Sin embargo, la situación de aislamiento de una gran cantidad de comunidades, así como el empobrecimiento de estos habitantes no ha permitido que el gas o la electricidad sean ni siquiera una alternativa a tomar en cuenta.

<sup>45</sup>Cabe mencionar que de acuerdo con INEGI (1990), el 71% de los habitantes rurales utilizaban leña como principal combustible para cocción. Sin embargo, la encuesta SEMIP (1987) sobre el sector rural, asegura que el 90% de los hogares rurales siguen utilizando leña. Esta diferencia es debida seguramente a que el Censo no toma en cuenta el doble uso de combustibles. Diversos estudios (Evans 1984, Masera et al 1989) demuestran que es común el uso de la leña para el cocinado de tortillas y nixtamal, aun cuando se cuente con estufa de gas. En el análisis por usos finales (ver sección 7.3) de este trabajo, se toma en cuenta esta situación.

<sup>46</sup>Se asumen a los estados de Baja California Sur y Norte, San Luis Potosí, Zacatecas, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Tamaulipas, Sonora, Sinaloa y Nayarit como el Norte del país.

<sup>47</sup>Es interesante mencionar que a pesar de la disminución del ingreso durante la época de los ochenta, la saturación de los electrodomésticos aumentó. Esto debe estudiarse más a fondo. Sin embargo, algunas reflexiones que podrían explicar este fenómeno son las siguientes: a) la apertura de líneas de crédito durante ese periodo, permitieron que la gente tuviera la oportunidad de adquirir electrodomésticos, a pesar de la disminución de su ingreso; y b) la inflación en algunos años mayor al 100%, provocó que muchas familias decidieran invertir su dinero en un bien durable como un electrodoméstico en vez de ver disminuidos sus ahorros.

**Tabla 6.2**  
**Tamaño de las viviendas**  
**(Número de cuartos por vivienda)**

	1970	1980	1990
<b>Total de viviendas</b>			
<b>1 cuarto</b>	40%	30%	11%
<b>2 cuartos</b>	29%	29%	23%
<b>3 ó mas cuartos</b>	31%	38%	65%
<b>no especificado</b>		3%	1%

Fuente: INEGI

La falta de un registro histórico de la superficie de las viviendas, hace que el "número de cuartos por casa-habitación", sea el único indicador disponible para evaluar el cambio en el tamaño de la residencia. Es interesante recalcar, que incluso cuando la superficie total de la vivienda no haya cambiado, el aumento en el número de cuartos por sí solo, genera mayor demanda de iluminación. La Tabla 6.2 muestra como el número de viviendas con un cuarto representaba en 1970 el 40% del total, mientras que en 1990 éstas sólo representaban el 10.5%. Por el contrario las viviendas con tres o más cuartos aumentaron de 31% a 65% en el mismo periodo.

#### 6.2.3.4 Estancia en el hogar

El aumento de la participación de la mujer en el trabajo fuera del hogar ha influido en la disminución del uso de la energía residencial de los países de la OCDE. Este fenómeno es debido a la aminoración del tiempo de estancia diaria en los hogares. Cuando las viviendas se encuentran desocupadas las temperaturas interiores para calefacción se reducen y se dispone de menos tiempo para el cocinado.

En México, entre 1970 y 1990, la participación de la mujer en la población económicamente activa fue cada vez mayor de 19 al 30% (NAFINSA 1991). Sin embargo no existen estudios que indiquen el efecto que esto ha tenido en el consumo de energía doméstico y por ello es difícil aventurar conclusiones. Sería sencillo suponer que este fenómeno ha provocado en México, un efecto similar al de los países de la OCDE, sin embargo, existen otros elementos que sugieren lo contrario.

Algunos de éstos son los siguientes: a) la importancia mínima que tiene la calefacción en el uso de energía residencial en México; b) es común que uno de los trabajos que realicen las mujeres, tanto en las zonas urbanas como en las rurales, sea la venta de alimentos preparados en el hogar. Esto parecería como un aumento en el uso de

la energía residencial y no como una disminución (Maserá et al. 1989, Selby 1990); c) es frecuente que el hogar esté compuesto por familias extendidas. Esto sugiere que aunque la mujer no se encuentre en el hogar durante el transcurso del día, otras personas (abuela, tía, primas, etc.) realicen el trabajo doméstico de la misma manera que éste se había venido haciendo antes de la inserción de la mujer en la fuerza de trabajo (Selby 1990); y d) la importancia de las trabajadoras domésticas en las zonas urbanas de México (Castells 1988, Wards 1990) sugeriría que mientras la mujer trabaja fuera del hogar, se siguen desarrollando las actividades domésticas en la vivienda.

#### **6.2.3.5 Agua y electrificación**

Un elemento estructural que ha contribuido y que incluso presionará para el aumento de la demanda de energía en el sector residencial es la electrificación y el reciente acceso a agua corriente de un importante porcentaje de viviendas. Este último servicio da la posibilidad de adquisición de calentadores de agua y por lo tanto de mayor consumo de energía. En 1970 el número de viviendas con agua corriente era del 70% y en 1990 esta proporción alcanzó tan sólo el 80%. Para el mismo periodo, las viviendas con servicio eléctrico aumentaron de 59% a 89% del total (INEGI 1970, 1980, 1990).

Existe una gran diferencia en el número de viviendas sin electricidad entre México y los países de la OCDE. Desde 1960, el 100% de las viviendas de los nueve países de la OCDE analizados en este estudio, tenían acceso a la electricidad, y solamente el 6% de las viviendas de Europa occidental no contaban con agua caliente en 1970<sup>48</sup>. Esto indica que en México el potencial de crecimiento del uso de la energía por hogar es mucho mayor.

#### **6.2.3.6 Estructura del uso de la electricidad**

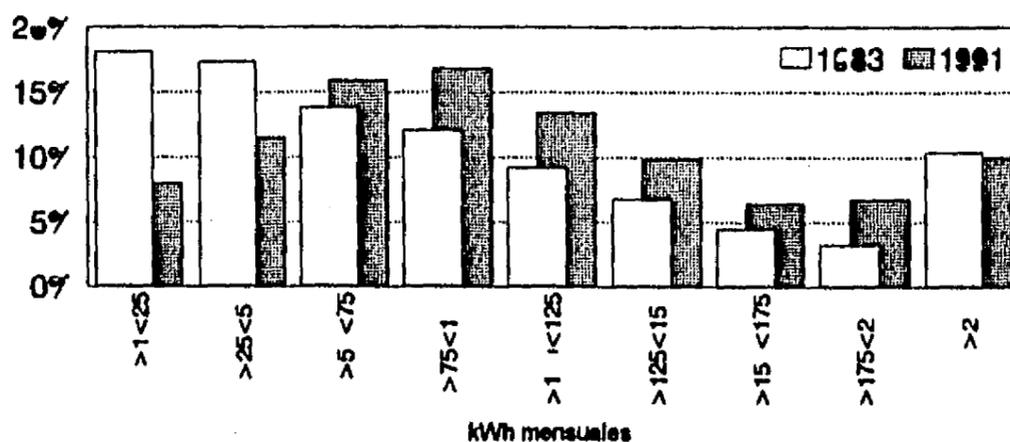
Otro elemento estructural que caracteriza la demanda de energía residencial es la distribución del consumo eléctrico. El conocimiento de la evolución de los consumos mensuales por usuario permite analizar en cuáles sectores de la población hubo mayor consumo, así como los cambios en la distribución del mismo. Por otro lado, esta información puede ser útil en la estimación de la saturación de los electrodomésticos.

---

<sup>48</sup>En el caso del Japón, el 100% de las viviendas contaban con agua corriente en 1970, pero tan sólo el 70% tenía baño. Este porcentaje ya había aumentado a 91% en 1988. Nakagami (1990) sugiere que este elemento fue fundamental en el aumento del uso de energía para agua caliente en el Japón.

El ábaco o histograma de consumo de electricidad residencial (usuarios por bloque de consumo) para los años de 1983 y 1991 se presenta en la Figura 6.4 (CFE 1985, 1992). El elemento que más resalta en esta gráfica es el desplazamiento de un alto porcentaje de usuarios de los bloques de menor consumo hacia los bloques de consumo medio. Mientras que en 1983 el 35% de los usuarios consumían menos de 50 kWh al mes y 31% entre 50 y 150 kWh al mes; en 1991 tan sólo el 20% de los usuarios consumía menos de 50 kWh al mes y en cambio 56% de los usuarios utilizaban entre 50 y 150 kWh al mes. Este importante incremento en los consumos promedio se debió principalmente a la incorporación de nuevas viviendas al servicio eléctrico, pero también a la adquisición de electrodomésticos en viviendas que no contaban con ellos.

### Usuarios residenciales de electricidad por bloque de consumo\* 1983 y 1991



\*Promedio pesado de tarifas 1 y 1a.  
Fuente: Elaboración propia a partir de datos internos de CFE

Es interesante observar que los usuarios que consumen más de 200 kWh se mantuvieron prácticamente constantes y que representan un porcentaje importante de todos los usuarios. Esta inequidad en el consumo es aún más evidente cuando se gráfica el consumo de energía total por bloque de consumo (Figura 6.5). En 1983 el 11% de los usuarios eléctricos consumían el 40% de la demanda total de electricidad. A principios de los años noventa, el incremento en el número de usuarios medios (entre 50 y 150 kWh al mes) cambió ligeramente la proporción total. Aún así, para 1991, tan sólo el 10% de los usuarios eléctricos consumían el 35% del consumo total.

## Consumos residenciales de electricidad por bloque de consumo\* 1983 y 1991

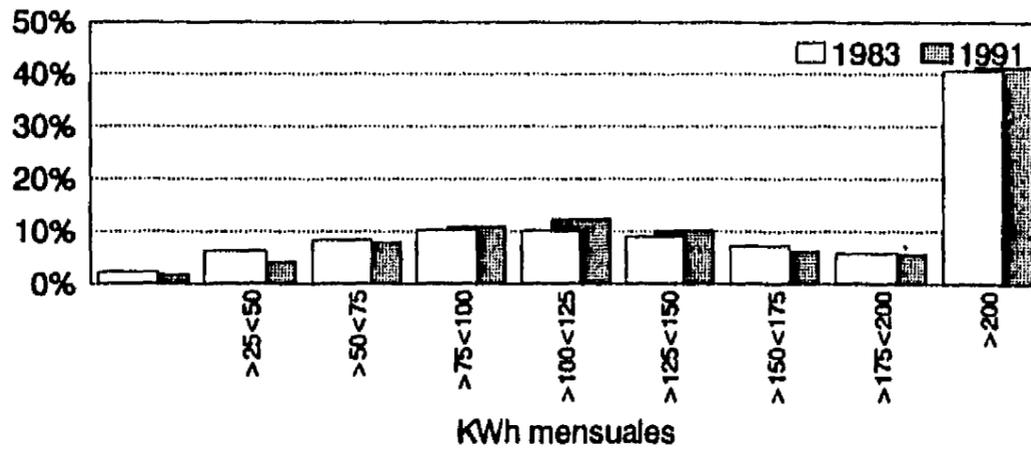


Figura 6.5  
Consumo mensual 1983: 1040 Mwh; 1989: 1550 Mwh  
\*promedio pesado de las tarifas 1 y 1a; Fuente: CFE

### 6.2.3.7 Saturación de los electrodomésticos

Otro de los elementos que ha incrementado la demanda de energía residencial es el aumento de los aparatos domésticos en los hogares. Aún cuando no existen estudios periódicos que muestren la variación real de la saturación de éstos en México, la existencia de algunas encuestas (Willars 1990, SEMIP 1988, Sathaye 1994, Fernández 1991), los datos sobre la variación en el número de usuarios por bloque tarifa eléctrica y el registro de las ventas, permiten estimar el aumento en los aparatos domésticos para un hogar promedio.<sup>49</sup>

<sup>49</sup>Para mayor detalle en la metodología utilizada para esta estimación ver el Apéndice 2 de este trabajo.

**Tabla 6.3**  
**Saturación de electrodomésticos en México\***  
**(%)**

	Televisión	Refrigerador	Lavadora	Plancha	Aire Acond.
<b>1980</b>					
Total	54	42	23	60	3
Urbano	68	52	34	75	4
Rural	25	12	>1	3	
<b>1990</b>					
Total	77	63	50	70	6
Urbano	90	76	65	85	8
Rural	40	26	3	4	

\*Saturaciones 1990: saturación 1987 (Maserá et al. 1991) + ventas de electrodomésticos por tasa de retiro.

Ventas de electrodomésticos (ANFAD 1992)

Tasa de retiro de lavadora y refrigerador (ANFAD 1990, Friedmann 1993)(85% de 1987 a 1990 y 70% de 1980 a 1990)

Tasa de retiro planchas, T.V. (U.S. DOE 1992)

T.V. 1980, interpolación entre el valor de 1990 y 1970.(INEGI 1980), (ANFAD 1992), (Friedmann 1993)

Aire acondicionado: Estimación a partir del ábaco de consumo de la Tarifa 1a y 1b, asumiendo un consumo unitario de 1600 kWh y una saturación del 6% para 1990: (De Buen 1993). Se asume que aquellos usuarios que cuentan con aire acondicionado son los correspondientes al bloque de consumo mayor a 250 kWh al mes.

La división urbano-rural es una estimación basada en las encuestas y asumiendo que la mayor parte de las ventas después de 1987, fueron al subsector urbano.

De acuerdo con estas encuestas, los electrodomésticos más difundidos en México son el refrigerador, la televisión, la plancha, las lavadoras de ropa y en el norte del país, el aire acondicionado. La Figura 6.6 muestra la variación en las ventas de algunos de estos electrodomésticos para la década 1980-1990. Como se observa, durante ese periodo los productores de enseres domésticos vendieron más de 7 millones de refrigeradores y un número semejante de lavadoras de ropa, casi el doble que el aumento en el número de hogares. Conociendo la saturación de estos electrodomésticos para un año determinado, estimando la tasa de retiro a través de la vida de los mismos<sup>50</sup>, es posible estimar el cambio histórico en la saturación.

Utilizando esta información, aunada a los consumos unitarios de aparatos electrodomésticos reportados por diversas fuentes (Maserá et al. 1991, Friedmann 1993, Campero 1991, Fernández 1991)<sup>51</sup> y la evolución de los usuarios por bloque de consumo

<sup>50</sup>Se considera que el 15% de las ventas de cada año fue para reposición de viejos aparatos que dejaron de usarse. Es necesario aclarar que la reposición pudo haber sido mayor, pero muchos electrodomésticos usados son reciclados en México. Este dato está de acuerdo con el informe de la ANFAD de 1990 y con Friedmann (1993).

<sup>51</sup>Además de comunicación personal con Lic. Conchard, gerente general de la Asociación Nacional de Fabricantes de Aparatos Domésticos (1993).

eléctrico, se hace una estimación de la variación en la saturación de los principales electrodomésticos. Esta se presenta en la Tabla 6.3<sup>52</sup>.

### Ventas de aparatos domesticos en México

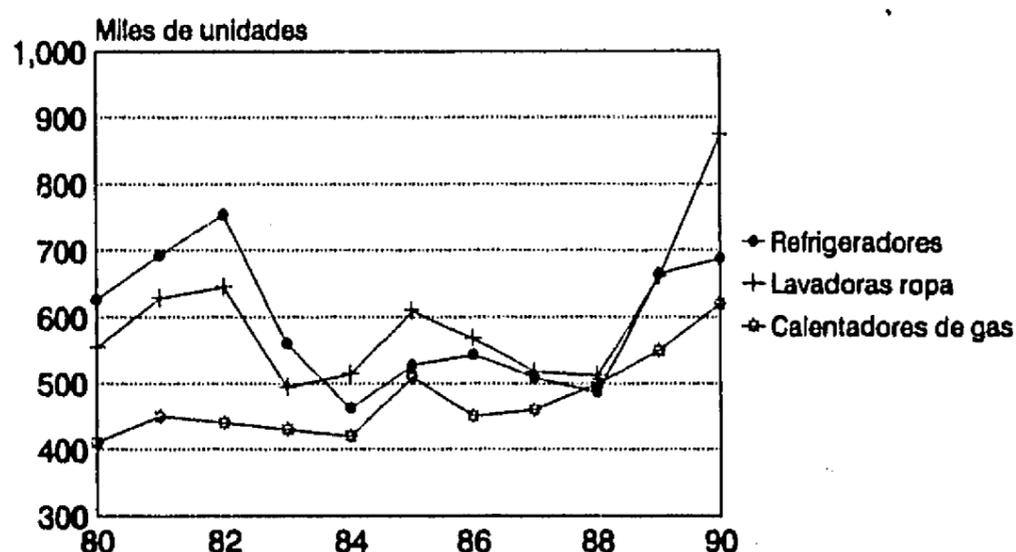


Figura 6.6  
Fuente: ANFAD 1991

Debido a que las tasas de retiro son estimadas, se decidió realizar un análisis de sensibilidad que permite estimar la saturación de los electrodomésticos para distintas tasas de retiro. Esto se muestra en la Tabla 6.4. para el caso de los refrigeradores y las lavadoras de ropa.

Como puede observarse, existe una variación de entre 2% y 3%, dependiendo del porcentaje de la tasa de renovación de estos electrodomésticos. Se puede decir, entonces, que la saturación de refrigeradores en México en 1990 era de entre 63 a 65% y de lavadoras, entre 49 y 52%.

<sup>52</sup>En la sección 7.3.4 se presentan los consumos unitarios de los electrodomésticos y el cruce de estos datos con los ábacos de consumo, lo que permite estimar el consumo de energía residencial para electrodomésticos.

**Tabla 6.4**  
**Saturación de electrodomésticos**  
**en México para distintas tasas de retiro (%)**

	Refrigerador	Lavadora
<b>1980</b>		
0%*	37	18
10%	40	22
15%	42	23
20%	44	25
<b>1990</b>		
0%	65	52
10%	64	50
15%	63	50
20%	63	49

\* El porcentaje se refiere a la fracción de las ventas que se utilizó para sustituir viejos electrodomésticos. Por ejemplo, 0% significa que hubo cero reposición.

Es sumamente interesante resaltar que a pesar de la disminución del ingreso medio y mínimo durante los años ochenta, la saturación de los electrodomésticos. Esto puede deberse a dos factores. El primero es que durante la época de crisis y de inflación creciente, las familias prefieren invertir sus ingresos en vez de ahorrarlos. La segunda razón es que durante la década de los ochenta se generalizó la posibilidad de comprar a plazos un electrodoméstico, lo que facilitó la adquisición de los mismos a mayor número de familias.

### **6.3 Cambios agregados del consumo de energía residencial en México**

El sector residencial en México es responsable del 20% del consumo de energía final, el cual creció a una tasa promedio anual de 2.8% entre 1970 y 1990. A diferencia de otros sectores, el residencial resintió sólo ligeramente la severa crisis económica de la década de los ochenta. Por ejemplo, mientras el uso de la energía en el sector transporte se redujo de una tasa de crecimiento anual de 8% entre 1970-80 a una de 2% entre 1980-90, en el residencial tan sólo disminuyó de 3% a 2.6% respectivamente (SEMIP 1991).

Una de las razones por las que el uso de energía final para este sector mantuvo un crecimiento similar durante la década de los setenta y la de los ochenta, es el peso que la leña tiene en el consumo final. Los cambios macroeconómicos afectan tan sólo de manera indirecta el uso de la leña debido a que su principal forma de obtención es la recolección

directa. Esto es más claro si se divide el análisis del uso de la leña y de los energéticos comerciales. En el primer caso la tasa anual de crecimiento tan sólo se redujo en un 0.1% entre 1970-80 y 1980-90 (de 0.5% a 0.4%). En el caso de los energéticos comerciales, en cambio, la caída fue del 2% (de 7% a 5% para los dos periodos respectivamente).

Analizando el consumo final por fuentes (Figura 6.7) se encuentra que el uso del petróleo diáfano disminuyó a una tasa anual del 6% para todo el periodo, representando el 8% del consumo final en 1990. El gas LP en cambio, pasó de representar el 15% al 38% y el gas natural de 3% a 6%. La electricidad fue la fuente con mayor crecimiento promedio anual (8.7%) alcanzando el 11% del consumo final del sector en 1990. Finalmente la leña disminuyó su contribución al uso final de la energía de 65% a 44%, reflejando la disminución relativa de la población rural.

### Uso de energía residencial en México por fuentes

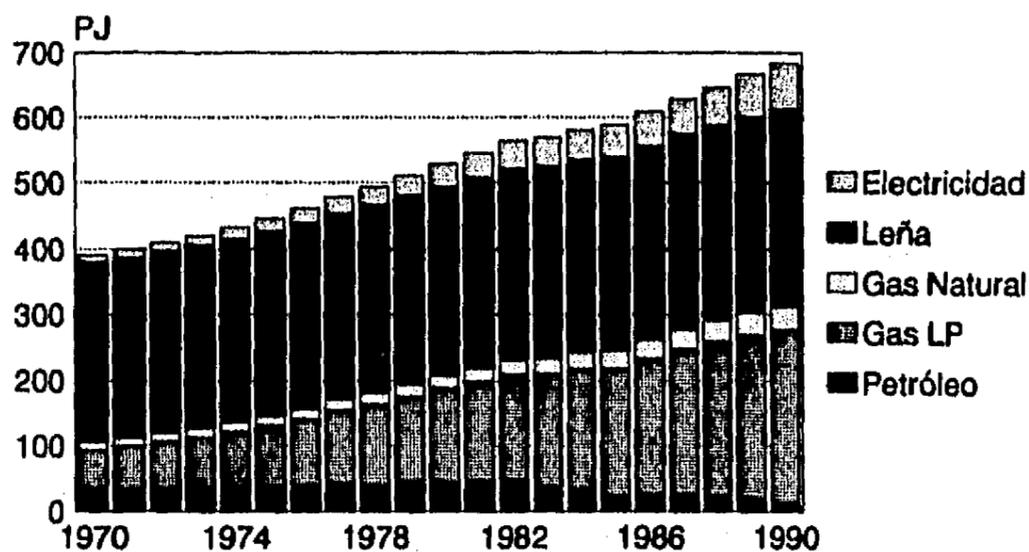


Figura 6.7  
Fuente: SEMIP y elaboración propia

La Tabla 6.5 muestra el consumo de energía residencial total y per cápita para 1970, 1980 y 1990. Como puede observarse, entre 1970 y 1980 la población creció más rápidamente que el uso de la energía, generando una ligera tasa de crecimiento negativa en

el uso de la energía per cápita<sup>53</sup>. Esta tendencia se revirtió para la década de los ochenta, arrojando una tasa de crecimiento anual promedio per cápita de 0.2%.

La energía neta, contabilizada como la energía final menos las pérdidas por combustión, tuvo un crecimiento mayor que la energía final tanto total como per cápita<sup>54</sup>. Esto se debió a la disminución del uso de la leña (cuya eficiencia típica es del 17% para la estufa de tres piedras, Dutt et al. 1989) y el aumento del gas LP y de la electricidad. En este caso la tasa de crecimiento anual final per cápita fue de 2.1% y 2.3% para las dos décadas respectivamente.

Finalmente, una aproximación a los cambios de la energía primaria (suponiendo la pérdida por generación, transmisión y distribución promedio de la electricidad reportadas en los balances de energía, SEMIP 1980 y 1990) indica que la tasa de crecimiento anual promedio per cápita fue de 0.5% para la década de los setenta y de 1.4% para la de los ochenta, reflejando un aumento mayor que el de la energía final debido principalmente a la creciente importancia de la electricidad en el sector residencial.

**Tabla 6.5**  
**Consumo de energía residencial total y per cápita**  
**en México**

	1970	1980	1990
<b>Energía final(PJ)</b>	<b>390.2</b>	<b>528.4</b>	<b>683.9</b>
<b>per cápita (GJ)</b>	<b>8.1*</b>	<b>7.9</b>	<b>8.4</b>
<b>Energía neta (PJ)</b>	<b>112.41</b>	<b>192.4</b>	<b>295.2</b>
<b>per cápita (GJ)**</b>	<b>2.3</b>	<b>2.9</b>	<b>3.6</b>
<b>Energía primaria (PJ)</b>	<b>419.1</b>	<b>609.4</b>	<b>849.5</b>
<b>per cápita (GJ)***</b>	<b>8.6</b>	<b>9.2</b>	<b>10.5</b>

Fuentes: SEMIP, Mendoza & Macías (1991). \* El valor del uso de la energía de 1970 es una estimación. Masera et al. (1991) reportan un consumo de 371 PJ, o 7.7 GJ/cap. Esto indicaría que entre 1970 y 1980 la tasa promedio de crecimiento anual per cápita estuvo entre -0.2% y 0.3%.

\*\* Energía final menos las pérdidas por combustión: Eficiencias para energía neta (Schipper et al.1992, Masera et al., Leach et al. 1989, Dutt et al. 1989). Gas LP, petróleo diáfano y gas (0.5), leña (.17) electricidad (1).

\*\*\*Energía final mas las pérdidas de generación, transmisión y distribución de la electricidad (3.24)

El análisis agregado del uso de la energía aún cuando presenta una visión global, es limitado pues no permite explicar las causas de los cambios en la demanda. Para analizar

<sup>53</sup>El valor de 1970 es una estimación obtenida de SEMIP y Mendoza (1991). Masera et al (1991) reportan un consumo de 371 PJ, o 7.7 GJ/cap para 1970. Esto indicaría que entre 1970 y 1980 la tasa promedio de crecimiento anual per capita estuvo entre -0.2% y 0.3%.

<sup>54</sup>Las pérdidas por combustión se toman como del 55% para el petróleo y el gas, incluido el gas LP y de 17% para la leña (Leach y Gowen 1988)(Schipper et al 1992).

más a fondo las razones de los cambios en las tendencias se realiza un análisis por usos finales.

## **6.4 Usos finales**

Este análisis se realiza para los años de 1980 y 1990, ya que para 1970 existen aún menos datos. En cada sección y subsección se indican las suposiciones y las fuentes de los datos que permiten hacer esta estimación.

### **6.4.1 Cocción**

La cocción de alimentos representó en 1980 el 65% del consumo residencial. Para 1990, esta proporción se había reducido a 57%. Esta importante disminución se debió a la creciente importancia del gas LP como combustible substitutivo de la leña y el petróleo diáfano y al incremento en el uso de la energía para otros usos finales (Figura 6.8). Dividiendo el análisis por subsectores, la cocción en el subsector rural representó 80% en 1980 y 73% en 1990, mientras que en el subsector urbano la proporción cayó de 54% a 47%.

En el campo mexicano la leña representa el energético más importante para la cocción de alimentos. De acuerdo con los Censos de 1980 y 1990 alrededor del 73% de las viviendas utilizaban la leña como energético principal para este uso. Sin embargo, diversos estudios reportan que aún cuando una familia rural adquiere una estufa de gas LP sigue utilizando la leña para la cocción de tortillas y nixtamal (Evans 1984, Masera et al. 1989, Sheinbaum 1989). De acuerdo con la encuesta rural realizada por SEMIP en 1987, cerca del 90% de las viviendas rurales seguían utilizando la leña para cocción. Se asume entonces que la diferencia entre el Censo y la encuesta de SEMIP corresponde a las viviendas que utilizan ambos energéticos<sup>55</sup>.

---

<sup>55</sup>Esta misma suposición es asumida en el trabajo de Masera (1993)

## Uso de energía residencial per cápita en México por usos finales

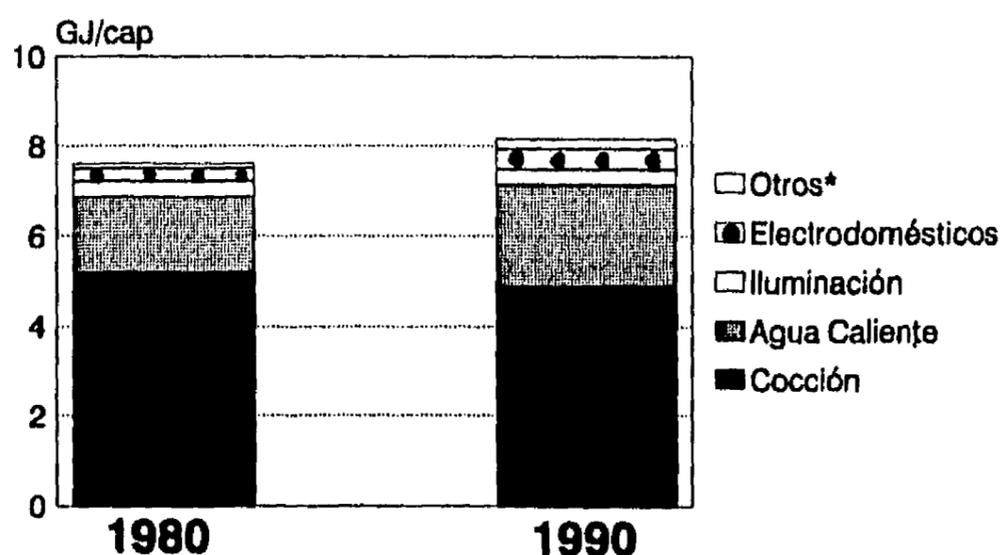


Figura 6.8

\*Otros representa la diferencia entre balances de energía y las estimaciones realizadas en este trabajo

La cocción con leña en la mayor parte del subsector rural mexicano se realiza a través de la llamada estufa tres piedras, cuya eficiencia<sup>56</sup> es del 17% (Dutt et al. 1989). Cerca del 50% del consumo de leña para cocción es destinado en la preparación y cocimiento de tortillas (Sheinbaum 1990). Es difícil hacer una estimación del consumo unitario para cocción con leña, ya que existen pocos estudios que hayan realizado mediciones directas. Masera et al. 1989 y Cervates et al. 1984 reportan un consumo que varía de entre 1.5 y 3.5 Kg leña/cap/día, dependiendo del acceso que la comunidad tenga para la recolección. SEMIP (1987) reporta un consumo (incluyendo todos los usos) de 2.5 Kg/cap/día. Masera et al. (1989), en cambio, reportan un consumo de leña de 1.0 kg/día para cocción en la comunidad de Cheranatzicurin. En el presente trabajo se asume un consumo per cápita nacional para cocción de 1.5 kg/cap/día. para aquellos hogares que solamente utilizan leña para este uso y de 0.75 Kg/cap/día para los hogares con uso mixto.

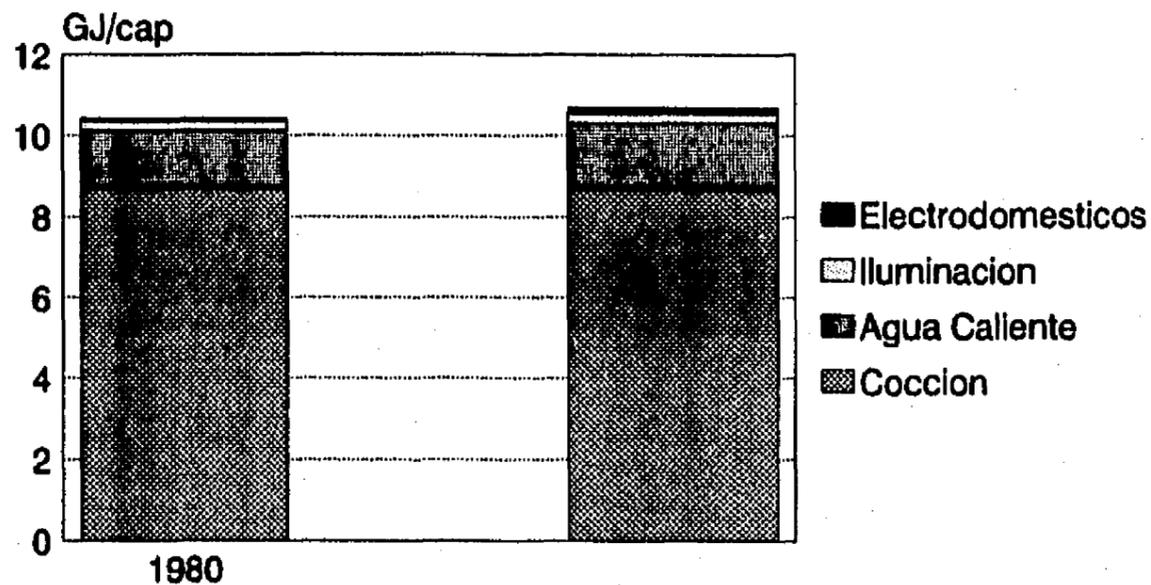
La Tabla 6.6 reporta la estimación de la saturación de los distintos energéticos en el subsector rural, así como el consumo unitario. Este último es un promedio pesado para el petróleo diáfano, el gas LP y el uso mixto en el caso del petróleo y del uso individual y mixto (leña y gas LP) para el caso de la leña.

<sup>56</sup>Medida con la prueba de ebullición de agua (Bathia 1980)

El uso total de la energía, así como el consumo unitario por vivienda para cocción en el subsector rural, disminuyeron ligeramente (Tabla 6.6) debido a la penetración del uso mixto y a la reducción del tamaño del hogar. La saturación se mantuvo prácticamente constante y el consumo total de leña decreció ligeramente (Figura 6.9).

A diferencia de la leña, el consumo del petróleo para cocción en el subsector rural se mantuvo constante. Esto fue debido principalmente a dos causas. La primera fue que la caída en el uso del petróleo diáfano balanceó el aumento del uso de gas LP. La segunda fue la reducción del tamaño del hogar.

### Uso de energía rural residencial per cápita en México por usos finales



**Figura 6.9**  
La suma total de leña entre el balances de energía (SEMIP) y las estimaciones realizadas en este trabajo es de 0.1 GJ/cap para 1980 y 0.4 GJ/cap para 1990

**Tabla 6.6**  
**Saturación e intensidad energética para cocción**  
**en el subsector rural**

	1980	1990
<b>Total (PJ)</b>	<b>194.7</b>	<b>200.5</b>
<b>Total de viviendas rurales (millones)</b>	<b>3.9</b>	<b>4.1</b>
<b>Leña (PJ)</b>	<b>186.5</b>	<b>191.6</b>
<b>Saturación : leña(%)</b>	<b>75.0</b>	<b>72.5</b>
<b>uso mixto (%)</b>	<b>18.8</b>	<b>21.0</b>
<b>Consumo Unitario (GJ/viv)</b>	<b>51.0</b>	<b>50.0</b>
<b>Petróleo (PJ)</b>	<b>8.2</b>	<b>8.8</b>
<b>Saturación : Uso mixto %</b>	<b>18.8</b>	<b>21.0</b>
<b>Gas LP(%)</b>	<b>2.1</b>	<b>5.0</b>
<b>P.Diáfano (%)</b>	<b>4.1</b>	<b>1.5</b>
<b>Consumo Unitario(GJ/viv)*</b>	<b>8.4</b>	<b>7.8</b>

Datos de saturación: Censo (INEGI 1980, 1990) Los porcentajes son respecto a la población rural. Uso mixto se refiere a la utilización de gas LP y leña. Datos de saturación de uso mixto de combustibles provienen de la diferencia entre encuesta SEMIP y Censos para el sector rural. El porcentaje del total de viviendas que utilizan solamente gas LP y las que utilizan mixto (10% y 90% respectivamente) se mantiene para 1980 y 1990.

\*Los consumo unitarios son resultado del promedio pesado de leña y uso mixto (en el caso de la leña) y de gas LP, petróleo diáfano y uso mixto (para petróleo). Leña: 1.5kg/día/cap (Suposición propia de acuerdo a Masera et al. 1989, Sheinbaum 1990, SEMIP 1987, Cervantes et al. 1984). Gas LP 0.14Kg/día/cap; petróleo diáfano: 0.18Kg/día/cap(Masera et al. 1991). Uso mixto 0.75 Kg/día/cap de leña y 0.07Kg/día/cap de gas LP(50% de cada uno por cocinado de tortillas)(Sheinbaum 1990, Masera et al. 1989). Se asumen 18.0 GJ por kg de leña (SEMIP) y 51 GJ por Kg de gas LP y Petróleo diáfano (SEMIP). El consumo unitario de 1990 se aproxima, multiplicando por la diferencia de la raíz cuadrada del tamaño de la vivienda, debido a que la relación consumo-número de integrantes de la familia no es lineal en el caso de la cocción de alimentos (Schipper et al 1992a)<sup>57</sup>

El subsector urbano tiene características muy distintas al rural (Figura 6.10). En 1990 tan sólo el 5% de las viviendas utilizaba leña para la cocción, cerca del 85% lo hacían con gas LP y alrededor del 5% con ambos combustibles. Aquellas familias urbanas que utilizan la leña como energético para la cocción se concentran principalmente en las zonas marginadas de las ciudades y en las pequeñas ciudades de entre 2500 y 10000 habitantes<sup>58</sup>.

<sup>57</sup>Esto se refleja en el famoso dicho popular: donde comen dos comen tres. Algunos autores han llamado a esto economía de escala familiar.

<sup>58</sup>El límite arbitrario de 2500 habitantes para considerar una comunidad urbana o rural tiene problemas en aquellas comunidades cuya población es ligeramente mayor a los 2500 habitantes pero sus características económicas y culturales siguen siendo las de una comunidad rural.

Uso de energía residencial urbana per cápita  
en México, por usos finales

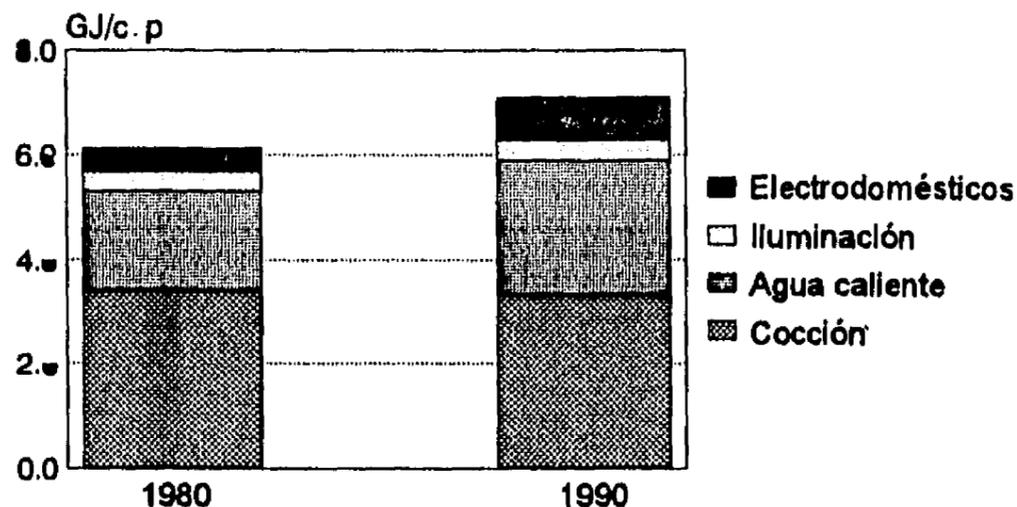


Figura 6.10  
Fuente: SEMIP y elaboración propia

La Tabla 6.7 muestra las saturaciones y los consumos unitarios del subsector urbano para cocción. La importante diferencia en los consumos unitarios del subsector urbano y rural para la misma fuente energética, se deben a la importancia del uso mixto leña-petróleo y a la diferencia en el tamaño de los hogares. En el caso del petróleo el consumo unitario es mayor en el subsector urbano que en el rural, debido a que cerca del 90% de las viviendas rurales con acceso a gas LP siguen utilizando la leña. Esto sucede así, a pesar de que el tamaño del hogar es mayor en el subsector rural que en el urbano. El uso mixto leña-petróleo tiene el efecto contrario en el consumo unitario de leña. Este provoca un consumo de leña por vivienda rural mayor que por vivienda urbana. En este caso la diferencia urbana-rural en el tamaño de los hogares también es causa de un consumo mayor por vivienda del subsector rural. Una diferencia adicional entre los dos subsectores es el uso del gas natural. Este energético es utilizado principalmente en algunas ciudades del norte de la república (Mendoza & Macías 1991, Willars & Heredia 1990).

**Tabla 6.7**  
**Saturación e intensidad energética para cocción en el subsector urbano**

	1980	1990
<b>Total (PJ)</b>	<b>150.1</b>	<b>190.5</b>
<b>Total de viviendas urbanas (millones)</b>	<b>8.24</b>	<b>11.94</b>
<b>Leña (PJ)</b>	<b>44.0</b>	<b>42.0</b>
<b>Saturación :</b>		
<b>leña (%)</b>	<b>8.5</b>	<b>4.8</b>
<b>uso mixto (%)</b>	<b>3.0</b>	<b>4.3</b>
<b>Consumo Unitario (GJ/viv)</b>	<b>46.2</b>	<b>38.6</b>
<b>Petróleo (PJ)</b>	<b>95.9</b>	<b>132.9</b>
<b>Saturación:</b>		
<b>uso mixto</b>	<b>3.0</b>	<b>4.3</b>
<b>gas LP(%)</b>	<b>72.8</b>	<b>80.1</b>
<b>p . diáfano (%)</b>	<b>6.8</b>	<b>0.5</b>
<b>Consumo Unitario(GJ/viv)</b>	<b>14.1</b>	<b>13.0</b>
<b>Gas natural (PJ)</b>	<b>10.2</b>	<b>15.6</b>
<b>Saturación (%)</b>	<b>8.5</b>	<b>9.4</b>
<b>Consumo Unitario(GJ/viv)</b>	<b>14.0</b>	<b>13.9</b>

Datos de saturación: Censo (1980, 1990) Los porcentajes son respecto a la población rural

Uso mixto se refiere a la utilización de gas LP y leña.

Se asume que tan sólo el 5% de las viviendas que utilizan gas LP, también utilizan leña. Este porcentaje es una estimación basada en las comunidades que tienen entre 2500 y 10 000 habitantes. De acuerdo con el censo de 1980 cerca del 40% de las viviendas de estas comunidades seguían utilizando leña como principal energético. En un cálculo simple del porcentaje poblacional que estas comunidades representan (11%) y asumiendo que 90% de esas familias siguen utilizando combustible mixto, se obtiene que cerca del 5% del total de viviendas rurales utilizan gas LP y leña. Los consumos unitarios fueron calculados de la misma manera que en la Tabla 6.6.

#### 6.4.2 Calentamiento de agua

El calentamiento de agua es el uso final más importante después de la cocción. Su contribución al consumo final de energía pasó de 20% a 27% entre 1980 y 1990. Este incremento se produjo principalmente en el subsector urbano, donde el aumento en la saturación de los calentadores de gas hizo que la participación de este uso creciera de 25% al 34%. La Figura 6.6 muestra las ventas de calentadores de gas entre 1980 y 1990. Como puede observarse cerca de 5.2 millones de calentadores se vendieron en todo el periodo. En el caso del subsector rural también se registró un aumento en la saturación de los calentadores, sin embargo estos pasaron a sustituir el uso de la leña, lo que provocó que la contribución de este uso se mantuviera constante.

La mayor parte del calentamiento de agua para aseo personal en el subsector rural se realiza en la estufa de tres piedras. La mayoría de estas viviendas carecen de agua corriente y de baño por lo que el calentamiento se realiza sencillamente colocando un balde de agua en el fogón. En este estudio se supone que el mismo porcentaje de viviendas

que cocina con leña como principal energético, también lo utiliza para calentar agua. El 10% de estos, utilizan calentadores de leña y el 90% utiliza el fogón<sup>59</sup> (Masera et al. 1991).

La Tabla 6.8 muestra la saturación y consumos unitarios para el sector rural para calentamiento de agua. De acuerdo con Masera et al. (1991), SEMIP (1987) y Willars y Heredia (1990) tan sólo el 5% de los habitantes rurales contaban con calentador de gas en 1987. Si se supone que para 1980 solamente aquellas viviendas que consumían gas LP para cocción también tenían calentador de gas y que solamente el 10% de las ventas de calentadores entre 1987 y 1990 se destinaron al sector rural, se tendrá que en la década de los ochenta la saturación de calentadores de gas pasó de 2.5% a 5%.

**Tabla 6.8**  
**Saturación e intensidad energética para calentamiento de agua**  
**en el subsector rural**

	1980	1990
<b>Total (PJ)</b>	<b>31.6</b>	<b>35.6</b>
<b>Total de viviendas urbanas (millones)</b>	<b>3.9</b>	<b>4.1</b>
<b>Leña (PJ)</b>	<b>30.1</b>	<b>31.9</b>
<b>Saturación (%)</b>	<b>95.0</b>	<b>95.0</b>
<b>Consumo unitario (GJ/viv)</b>	<b>8.3</b>	<b>8.2</b>
<b>Petróleo (PJ)</b>	<b>1.5</b>	<b>3.7</b>
<b>Saturación (Gas LP)(%)</b>	<b>2.1</b>	<b>5.0*</b>
<b>Consumo Unitario(GJ/viv)</b>	<b>18.4</b>	<b>18.2</b>

Datos de saturación: leña censo (INEGI 1980, 1990) Los mismos porcentajes que para cocción con leña y uso mixto, además de asumir que 90% es uso directo en el fogón y 10% calentador. Masera et al. 1991 reportan la saturación de los calentadores de leña para 1987. Se calcula el porcentaje que este representa de los consumidores de leña y éste se mantiene para 1980 y 1990.

Saturación petróleo: Estimación basada en los datos de 1987 de Willars et al. 1989.

\* Se asume que el 10% de las ventas de calentadores de gas se destinaron al sector rural. Si se supone el 5%, la saturación disminuye tan sólo al 4.5%, y si se incrementa al 15%, la saturación resulta ser del 5.5%. Puede decirse entonces, que la saturación de calentadores de gas LP en el medio rural se estima está entre el 4% y el 6%.

Consumo unitario leña: Promedio pesado entre calentador y fogón de tres piedras --0.8 y 0.1 kg/cap/día, respectivamente(Masera et al. 1991).

Consumo unitario petróleo: Promedio pesado entre petróleo diáfano y gas LP ( 3.2Kg/cap/día) respectivamente)(Masera et al. 1991).

En el caso del subsector urbano la saturación de los calentadores de gas pasó del 37% al 67%. Esto se calcula tomando como base una saturación del 50% para 1987 (Masera et al. 1991), asumiendo que el 90% de las ventas de calentadores fueron al sector

<sup>59</sup>Se coloca una olla con agua encima del fogón.

urbano y suponiendo que el 40% de los calentadores vendidos fueron para reposición<sup>60</sup>. Se asume también que las viviendas sin calentador de gas utilizan la estufa de gas (en caso de tenerla) para calentar agua, de la misma manera que los habitantes rurales lo hacen con el fogón de tres piedras. Finalmente se considera que todos los habitantes urbanos que utilizan gas para la cocción de alimentos, también lo hacen para el calentamiento de agua.

Los consumos unitarios varían dependiendo del tamaño del hogar y del promedio pesado entre el uso de la estufa y el calentador de gas. Los calentadores de gas utilizan mayor energía debido principalmente a las pérdidas de calor en el almacenamiento del agua caliente. La base de la estimación per cápita es la reportada por Masera et al. El resultado de este cálculo es un aumento en la intensidad de 11.2 GJ/vivienda en 1980 a 14.2 GJ/vivienda en 1990. De esta forma, el uso de energía para calentamiento de agua aumento a una tasa promedio anual del 5.9% (Tabla 6.9).

**Tabla 6.9**  
**Saturación e intensidad energética para calentamiento de agua**  
**en el subsector urbano**

	1980	1990
<b>Total (PJ)</b>	<b>85.5</b>	<b>150.1</b>
<b>Total de viviendas urbanas (millones)</b>	<b>8.24</b>	<b>11.94</b>
<b>Leña (PJ)</b>	<b>15.7</b>	<b>8.5</b>
<b>Saturación (%)</b>	<b>12.4</b>	<b>4.7</b>
<b>Consumo unitario (GJ/viv)</b>	<b>15.4</b>	<b>15.2</b>
<b>Petróleo (PJ)</b>	<b>58.2</b>	<b>120.3</b>
<b>Saturación (Gas LP)(%)</b>	<b>60.0</b>	<b>70.0</b>
<b>Saturación (P .Diáfano) (%)</b>	<b>3.0</b>	<b>1.0</b>
<b>Consumo Unitario(GJ/viv)</b>	<b>11.2</b>	<b>14.2</b>
<b>Gas (PJ)</b>	<b>11.6</b>	<b>21.3</b>
<b>Saturación (%)</b>	<b>7.0</b>	<b>9.0</b>
<b>Consumo unitario</b>	<b>20.0</b>	<b>19.8</b>

Datos de saturación: leña Censo (1980, 1990) Los mismos porcentajes que para cocción con leña (90% uso directo del fogón y 10% calentador) Masera et al. 1991 reportan la saturación de los calentadores de leña para 1987. Se calcula el porcentaje que este representa de los consumidores de leña y éste se mantiene para 1980 y 1990.

Saturación petróleo: Se estima a partir de los datos de ventas, un .03 de retiro anual y el reporte de la saturación de 1987 (Masera et al. 1991)Consumo unitario petróleo: Promedio pesado entre uso directo de la estufa de gas y calentador ( 3.2Kg/cap/día.0.4Kg/cap/día respectivamente)(Masera et al. 1991)

<sup>60</sup>Información personal con gerente de la Asociación Nacional de Fabricantes de Aparatos Domésticos (ANFAD).

### **6.4.3. Iluminación**

La iluminación representa un porcentaje del 4% en el uso de la energía residencial mexicana pero un 37% del uso de la electricidad. En México, a diferencia de los países de la OCDE, no todas las viviendas utilizan electricidad para cubrir sus necesidades de iluminación. Todavía en 1990 el 40% de las viviendas del subsector rural y 3% del urbano seguían utilizando petróleo diáfano, leña y en algunos casos gas LP para cubrir sus necesidades de iluminación.

Entre 1970 y 1990, el porcentaje de viviendas con acceso al servicio eléctrico pasó de 59% a 88%. En 1970 tan sólo 28% de las viviendas rurales tenía luz eléctrica, porcentaje que alcanzó el 48% en 1980. En el subsector urbano, en cambio, el 81% de los hogares contaba con luz eléctrica.

La iluminación con leña es principalmente con ocote y se utiliza para tareas específicas cuando no hay luz del sol, por esa razón su uso es tan pequeño. El consumo unitario se mantiene constante para todo el periodo (Maserá et al. 1989). En el caso del petróleo diáfano pequeños mecheros funcionan como dispositivo de iluminación.<sup>61</sup>

El consumo por vivienda de la iluminación eléctrica se supone constante para el periodo. La gran mayoría de las viviendas mexicanas utilizan focos incandescentes para este uso. Cerca de 107 millones de focos de una potencia promedio de 77.5 Watts son vendidos cada año. Utilizando los datos de ventas, los Censos y encuestas (Friedmann 1993, Willars 1990, Maserá et al. 1989 y SEMIP 1987) se estima que alrededor de 300 kWh/año son consumidos por las viviendas rurales y 500 kWh/año por las urbanas. En el primer caso este uso sería equivalente al uso de dos focos de 100 Watts por cuatro horas diarias. En el segundo caso la equivalencia sería el uso de 3.5 focos durante cuatro horas diarias. La Tabla 6.10 presenta las intensidades y saturaciones para este uso.

---

<sup>61</sup>El gas LP es utilizado también en algunos lugares, principalmente de la costa donde existe acceso a este energético. Debido a la falta de datos, no se calcula el uso del gas LP para iluminación, pero en la sección 6.3.5 se hace mención de ello.

**Tabla 6.10**  
**Saturación e intensidad energética para iluminación**

	1980	1990
<b>Total (PJ)</b>	<b>15.1</b>	<b>23.5</b>
<b>Urbano:</b>		
<b>Electricidad (%)</b>	89.4	96.9
<b>kW/viv</b>	500	500
<b>Rural:</b>		
<b>Electricidad (%)</b>	42.9	60.0
<b>kW/viv</b>	300	300

Datos de saturación: leña Censo (1980, 1990)

#### **6.4.4. Electrodomésticos**

En la sección 6.1.2.7 se presenta la saturación de los principales electrodomésticos. Debido a que no se cuenta con encuestas que indiquen la variación en los consumos unitarios por hogar por electrodomésticos y a la dificultad para obtener datos de ventas por electrodoméstico por capacidad se hace una gruesa suposición de que los consumos unitarios son los mismos para 1980 y 1990. Esta suposición está basada también en comunicación con los fabricantes.

En el caso de los refrigeradores, aquellos modelos que desde 1980 representan cerca del 70% de las ventas son los de una puerta, con descongelamiento manual, compresor EER y alrededor de 300 litros de capacidad (Friedmann 1993, ANFAD 1990&1992). De acuerdo con estas características se asume que el refrigerador promedio utiliza 500 kWh al año (Campero 1991, Fernández 1992).

Las lavadoras de ropa que dominan el mercado mexicano son las semiautomáticas de baja capacidad. De acuerdo con comparaciones internacionales (Schipper & Sheinbaum 1993) y Friedmann (1993) se asume un uso anual de 60 kWh/año, constante para 1980 y 1990.

La Televisión es otro dispositivo que representa una parte importante del consumo eléctrico residencial. El consumo unitario de estos aparatos se estima en 300 kWh al año. Este valor es una estimación basada en diversas fuentes. (Masera et al. 1991, Fernández 1992, Mendoza & Macías 1990). Antes de 1986 las ventas de televisores estaban

dominadas por los modelos blanco y negro. Después de este año, el 85% de las ventas las representan los televisores de color.

Para la plancha se estima un uso anual de 80 kWh al año (Mendoza & Macías 1991, Maserá et al. 1991), mientras que para el aire acondicionado un uso de 1600 kWh al año (De Buen 1993, CFE 1989). Este último dispositivo se utiliza principalmente en ciudades del norte de la república donde el clima es extremo y incluye principalmente aires acondicionados por cuarto.

Finalmente, otros electrodomésticos han penetrado de manera importante las viviendas principalmente urbanas. Aparatos que van desde hornos de microondas, secadoras de ropa, lavadoras de platos, hasta bombas de agua en ciudades como el Distrito Federal y calentadores eléctricos en el centro y norte del país, han comenzado a tener una gran importancia. En este trabajo se calcula que este residuo creció de 2.3 PJ en 1980 a 12.6 PJ en 1990. La demanda por este tipo de aparatos responde, entre otras razones, a la apertura comercial de los últimos años con los Estados Unidos, lo cual ha facilitado el acceso a mayor número de aparatos domésticos en el hogar. La Figura 6.11 muestra el uso de los electrodomésticos e iluminación para 1980 y 1990 para el sector rural y el urbano.

Es interesante cruzar la información obtenida a través de los datos de ventas y las encuestas, con los ábacos de consumo de energía eléctrica residencial (reportados en la sección 6.2.2.6). De acuerdo con los datos de consumos unitarios se puede asumir lo siguiente. Aquellos usuarios eléctricos residenciales que consumen menos de 25 kWh al mes solamente utilizan la electricidad para iluminación. Los que consumen entre 26 y 75 kWh al mes cuentan con iluminación, televisión y plancha. Entre 76 y 125 kWh al mes tienen los cuatro aparatos principales.

Al calcular el número de usuarios en los distintos bloques de consumo se puede hacer una estimación de la saturación de los aparatos electrodomésticos. Los resultados son muy cercanos a los obtenidos por medio de la estimación de las ventas. La diferencia es de alrededor del 10%. Parte de esta disparidad en los datos puede ser explicada por las variaciones históricas en los consumos unitarios (las cuales no son tomadas en cuenta en este trabajo) y la diferencia entre el número de usuarios eléctricos y el número de viviendas. Estos resultados sugieren que la mayor parte del crecimiento en el consumo de

electricidad residencial se debió al incremento en la pertenencia de electrodomésticos de los sectores medios de las zonas urbanas.

### Uso de electricidad para aparatos domésticos en México

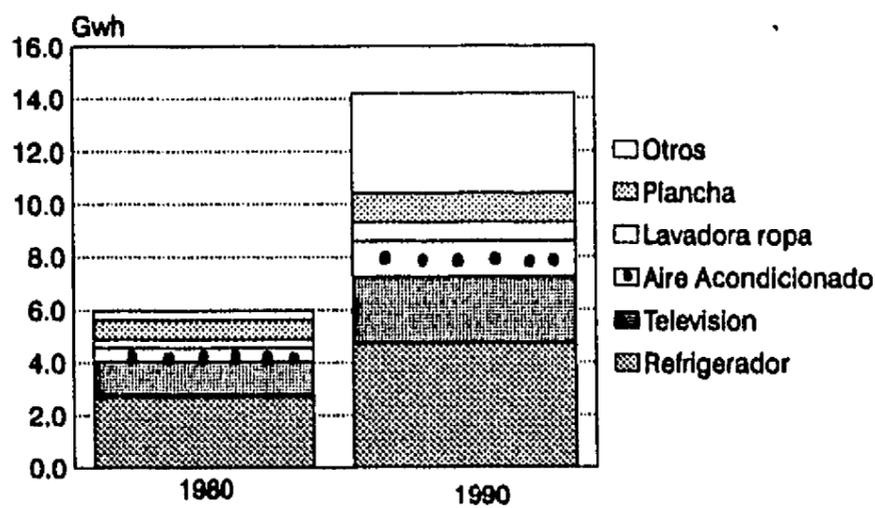


Figura 6.11

Fuente:Elaboración propia  
A partir de datos de ANFAD, Abacos de consumo CFE, INEGI

Como puede observarse, el uso de la electricidad para electrodomésticos ha sido el de mayor crecimiento relativo (respecto así mismo) en el uso de la energía residencial mexicana. Esta es una importante semejanza con los países de la OCDE. Sin embargo, en México la saturación de los electrodomésticos más importantes está lejos de alcanzar el 100%. Esto tiene implicaciones en la demanda futura de energía.

#### 6.4.5 Otros

Esta sección se refiere a otros usos finales de la energía, como son la calefacción en el caso de la leña y la iluminación y otros usos misceláneos como podría ser las secadoras de ropa en el caso del gas LP. La estimación de estos usos está basada sencillamente en el residuo entre el balance de energía y los resultados estimados para cada uso final para cada combustible. En el caso de la leña, la estimación es muy gruesa, ya que los propios datos de SEMIP acerca del uso de la leña en el sector residencial son una estimación y no están basados en encuestas o mediciones directas. En el caso del gas

LP, el dato de SEMIP es más confiable pues se basa en los datos de la oferta del propio PEMEX.

Adicionalmente, los datos presentados en este trabajo, como se menciona en la primera parte de este capítulo corresponden a estimaciones que tienen un importante margen de error debido a que no están basadas en encuestas nacionales directas para cada año. Con estos elementos en mente, puede hacerse una gruesa suposición acerca de la importancia total de los "otros usos" para cada combustible, la Tabla 6.11 muestra estos resultados.

**Tabla 6.11**  
**Diferencias (otros usos de la energía)**

	1980	1990
<b>Leña (PJ)</b>	<b>8.2</b>	<b>22.0</b>
<b>Gas LP (PJ)</b>	<b>14.8</b>	<b>6.7</b>

Resultado del residuo de los datos del balance de energía de SEMIP y las estimaciones de este trabajo. En el caso de la leña se refiere principalmente a calefacción. En el caso del gas LP puede referirse a iluminación y otros usos misceláneos como secadoras de ropa.

## 6.5 Índices de cambio

Debido a la carencia de una serie histórica de datos, es difícil evaluar con exactitud el efecto de las variaciones de intensidad y estructura en el consumo de energía del sector residencial mexicano. Sin embargo, con los datos disponibles puede hacerse una estimación de los efectos poblacionales, estructurales y de sustitución de la leña por otros energéticos. Para ello se calcula por separado cual hubiera sido el cambio en el uso de la energía total entre 1980 y 1990 para cada uno de los cambios, suponiendo que los demás factores se mantuvieron constantes (cambio poblacional, el de incremento en el número de hogares, el de la saturación de electrodomésticos y el de la sustitución de la leña en el uso final).

La Tabla 6.12 presenta los resultados. Como puede observarse el único elemento que presionó en la disminución del uso de la energía fue la reducción en el uso de la leña, debido a que las estufas de gas LP y gas natural (principales sustitutos), tienen eficiencias más altas que las de las tres piedras. Los de mayor importancia fueron el incremento en la pertenencia de los electrodomésticos y en el número de viviendas.

**Tabla 6.12**  
**Cambios poblacionales y estructurales**

	<b>% total de cambio (1980-1990)</b>
<b>Consumo de energía final(total)</b>	<b>29%</b>
<b>Población</b>	<b>57%</b>
<b>Viviendas</b>	<b>70%</b>
<b>Saturación electrodomésticos</b>	<b>140%</b>
<b>Importancia de la leña</b>	<b>-38%</b>

## 6.6 Análisis econométrico

En este inciso se analiza la demanda de energía comercial residencial y su relación con el precio de la energía, el ingreso medio per cápita y el tamaño de la vivienda, utilizando los métodos econométrico (Pokorny 1987). El objetivo de este ejercicio es conocer las elasticidades del precio, el ingreso y el tamaño del hogar.

Al igual que en el caso del análisis econométrico del uso de la energía residencial para los países de la OCDE, la ecuación de la demanda de energía en el caso de México está expresada como:

$$\ln (\text{Ener/cap}(t)) = A_0 + A_1 \ln P_t + A_2 \ln I_t + A_3 \ln X_t + e \quad (6.1)$$

donde "Ener/cap (t)" es la suma de los energéticos comerciales entre la población total, para cada año (t),  $P_t$  es el promedio pesado del precio de la energía,  $I$  es el ingreso medio anual per cápita y  $TH$  es el tamaño del hogar.

El precio es un promedio pesado por el consumo de cada combustible comercial, de tal manera que:

$$P_t = \frac{(PE_t E_t + PG_t G_t + PO_t O_t)}{(E_t + G_t + P_t)} \quad (6.2)$$

donde:

E = Electricidad ( $PE_t$  precio de la electricidad y E consumo)  
 G = Gas Natural  
 O = Derivados del petróleo  
 t = tiempo (año)  
 P = Precio

### 6.6.1 Resultados

En el cálculo de la regresión ordinaria se encontró autocorrelación de primer orden por lo que se utilizó el método de mínimos cuadrados generalizados con autorregresión para el cálculo de las elasticidades, el cual es explicado en el apéndice III.

La Tabla 6.13 muestra los resultados de los cálculos: Como puede observarse la regresión explica en un 95% el comportamiento del consumo de energía per cápita, ( $R > 0.9$ ) y el coeficiente de la variable retrasada de primer orden es significativa en un 85% ( $t = 1.74$ ).<sup>62</sup>

**Tabla 6.13**  
**Consumo de Energía Residencial en México (1970-1990)**  
**Análisis econométrico**  
**Estimación de las elasticidades**

C	P	I	TH	A(1)	R reg	R total	Error
6.72 (7.720)	-0.08 (-2.068)	0.28 (2.303)	-4.39 (19.46)	-0.48 (1.74)	0.972	0.987	.0006

Método de autorregresión (estimación de Yule-Walker)

El valor entre paréntesis es la "t"

P: Precio de la energía.

I: Ingreso

TH: Tamaño del hogar

A(1): Variable retrasada de primer orden

C: Constante

Los resultados muestran que la demanda es prácticamente inelástica respecto al precio. Esto era de esperarse debido a la poca variación del precio de la energía en México. La elasticidad del ingreso es un poco mayor que la del precio (0.28), pero mucho menor comparada con la del tamaño del hogar (-4.4). Estos resultados

<sup>62</sup>Usando la significación para las dos "colas" de la curva de t.

**indican: (a) la importancia de las variables estructurales en la demanda de energía comercial del sector residencial mexicano (importante correlación entre el tamaño del hogar y otras variables estructurales) y (b) que si el ingreso per cápita hubiese crecido en la década de los ochenta, la demanda de energía comercial per cápita hubiese sido mayor.**

## **Capítulo 7**

### **Emisiones de los principales contaminantes y gases invernadero debidas al uso de la energía residencial en México**

El uso de la energía en el sector residencial mexicano está asociado a diversos impactos ambientales y riesgos en la salud. Algunos de ellos son mencionados en la Tabla 4.1 presentada en el capítulo 4. A los presentados en dicha Tabla, pueden agregarse los efectos provocados por el uso de la leña. La utilización directa de este combustible, como en el caso de las estufas de tres piedras, produce emisiones de hidrocarburos volátiles, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono. Estas emisiones causan enfermedades respiratorias y la propensión al cáncer pulmonar (Selman 1992).

Al igual que en el análisis de las emisiones ambientales producidas por el uso de la energía en el sector residencial en los países de la OCDE, en el caso de México se analizan las emisiones de NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>. Los coeficientes de emisión de cada combustible y tecnología utilizados para este cálculo son los mismos que para la OCDE presentados en el capítulo 4. Los resultados son presentados por separado para los energéticos comerciales y para la leña. Para la electricidad se asume una eficiencia de conversión constante para 1980 y 1990 e igual a 30% (típica de una termoeléctrica). Los coeficientes de emisión de electricidad son presentados en la Tabla 7.1.

Los índices de emisión de los óxidos de carbono (CO y CO<sub>2</sub>) se incrementaron debido a la introducción del uso del carbón como sustituto del combustóleo en la generación de electricidad. En 1980, 77.5% de las fuentes primarias de generación de la electricidad provenían del petróleo y 22.5% del gas Natural. Para 1990 este porcentaje se redujo a 73 y 15% respectivamente. Para ese mismo año, un 8% de la electricidad generada provenía del carbón. El efecto de la disminución en el uso de combustóleo

provocó, por el contrario, una ligera disminución en los índices de emisión del NOx y del SO<sub>2</sub>. Las Figuras de la 7.1 a la 7.4 muestran las emisiones per cápita de CO, NOx, SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> respectivamente por usos finales, provenientes del uso de los energéticos comerciales.

**Tabla 7.1**  
**Coefficientes de emisión de la electricidad**

<b>Coefficiente</b>	<b>1980</b>	<b>1990</b>
<b>CO (g/GJ)</b>	51.5	60.9
<b>NOx (g/GJ)</b>	696.8	660.1
<b>SO<sub>2</sub> (g/GJ)*</b>	46.6	42.6
<b>CO<sub>2</sub> (Kg/PJ)</b>	56.4	57.2

Fuentes: SEMIP (1980, 1990), OECD (1990), CFE (1992), Cruzado (1994).

Generación eléctrica: 1980: petróleo 77.5%, gas 22.5%  
1990: petróleo 72.9%, gas 15.5%, carbón 8.2%.

\* Se asume un porcentaje de 6% de azufre en el carbón y se 2.3% en el combustóleo ( CFE 1992).

Como puede observarse, el aumento mayor es el del CO debido al incremento en el uso del carbón en la generación de electricidad y al importante valor del índice de emisión de este contaminante (Tabla 4.1). En el caso de las emisiones de NOx y de SO<sub>2</sub>, el crecimiento en las emisiones se debió a que en 1990 el uso de la energía comercial per cápita fue mucho mayor que en 1980.

A diferencia de la OCDE, donde la mayoría de los países presentó disminución en las emisiones per cápita de todos los contaminantes, en México sucedió justamente lo contrario. Las razones más importantes de esta diferencia son los cambios estructurales (i.e. aumento en la saturación de electrodomésticos y electrificación) y la participación del carbón en la generación de electricidad.

La Tabla 7.2 muestra las emisiones per cápita de los diversos contaminantes y gases invernadero debidas al uso de la leña en el sector residencial. En el caso del CO las emisiones debidas al uso de este combustible son alrededor de 300 veces mayores que las de los otros combustibles. Esto es debido a la diferencia en el coeficiente de emisión. Para el NOx, las emisiones debidas al uso de la leña son semejantes a las generadas por los

otros energéticos. En el caso del CO<sub>2</sub>, se asume que existe una tasa de renovabilidad en el uso de la leña del 30% (Maserá 1994). En todos los casos las emisiones debidas al uso de la leña disminuyeron entre 1980 y 1990 debido a la disminución en el uso final de la misma.

## Emisiones de Monóxido de Carbono en el sector residencial mexicano

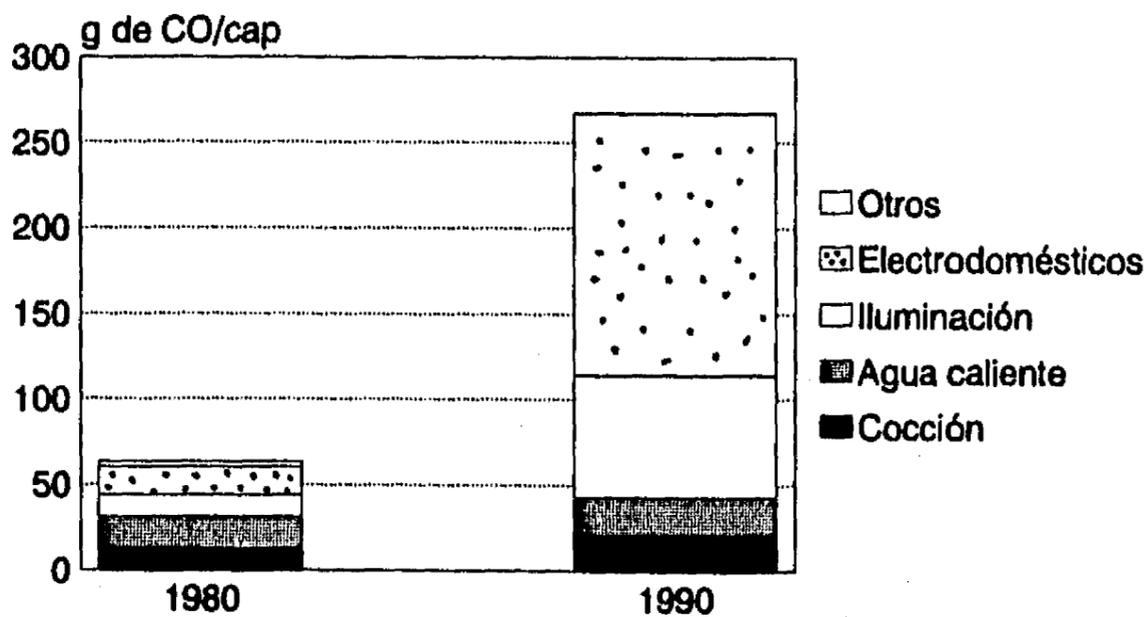


Figura 7.1  
No se consideran las emisiones debidas al uso de la leña

## Emisiones de Oxidos de Nitrógeno en el sector residencial mexicano

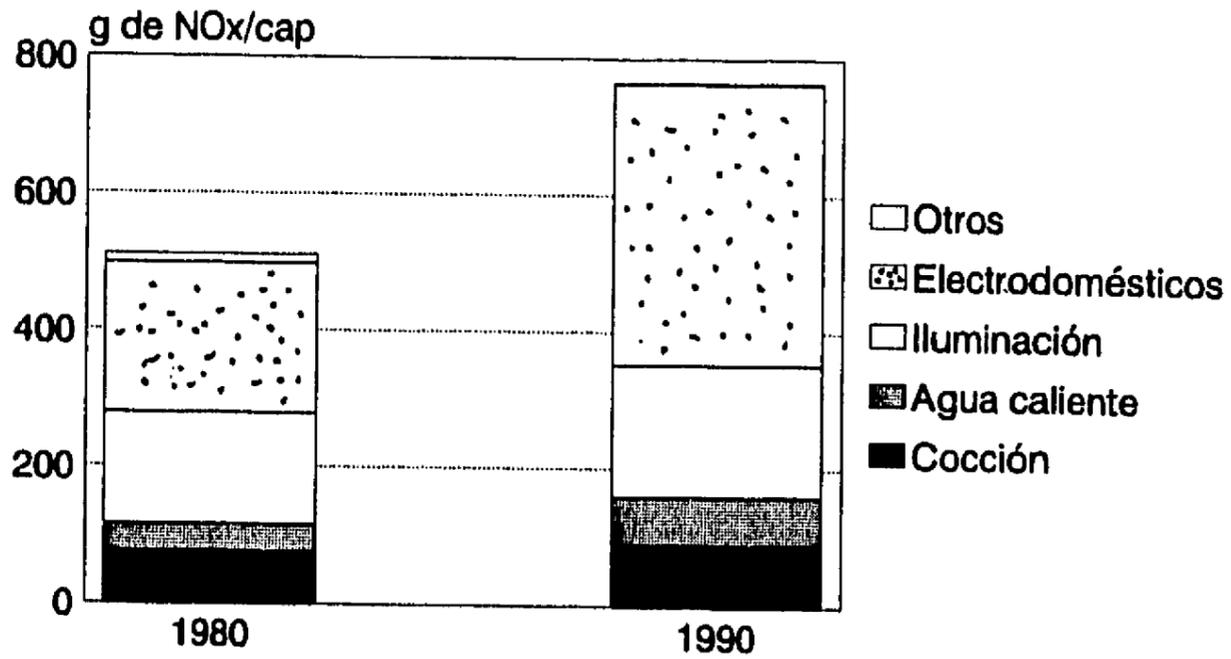


Figura 7.2  
No se consideran las emisiones debidas al uso de la leña

## Emisiones de Bióxido de Azufre Debidas al uso de energía residencial en México

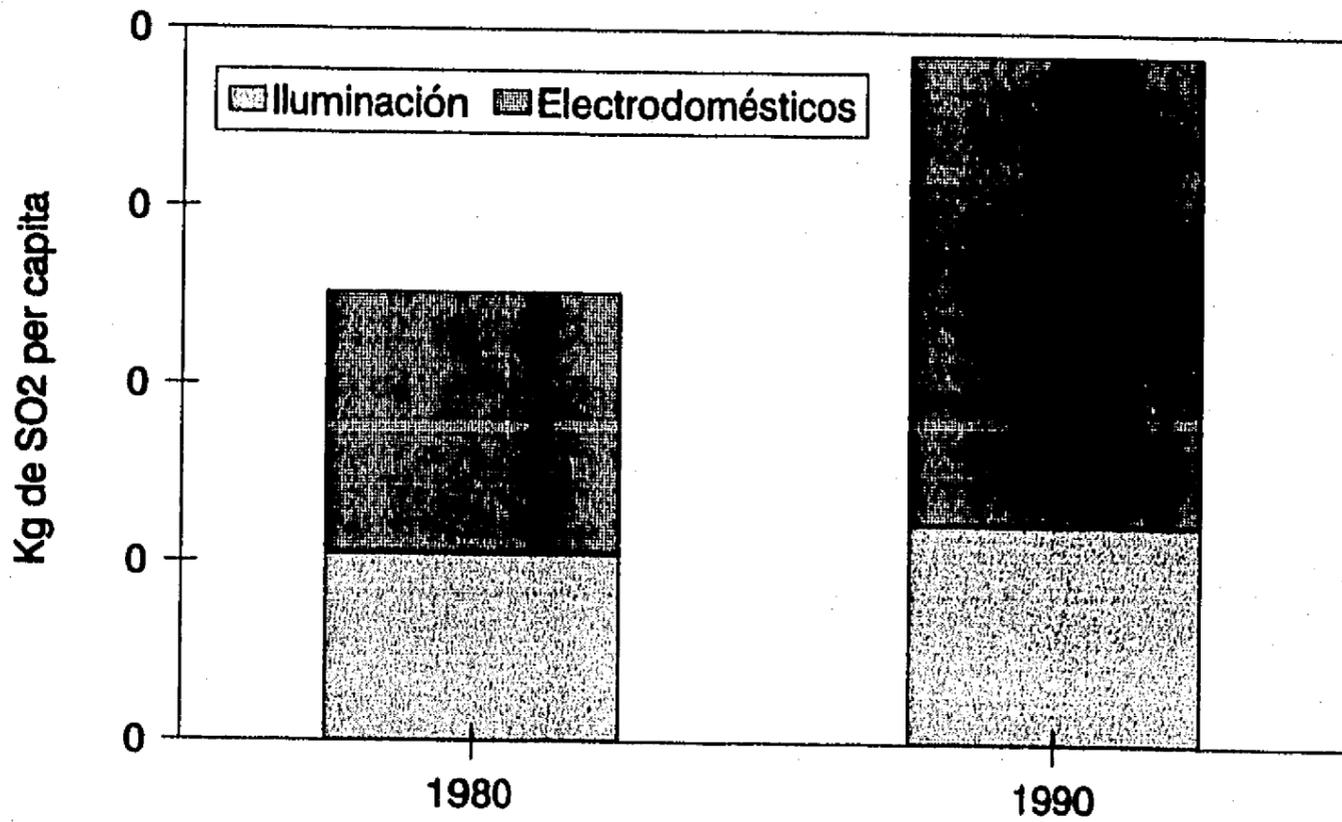


Figura 7.3

## Emisiones de Bióxido de Carbono en el sector residencial mexicano

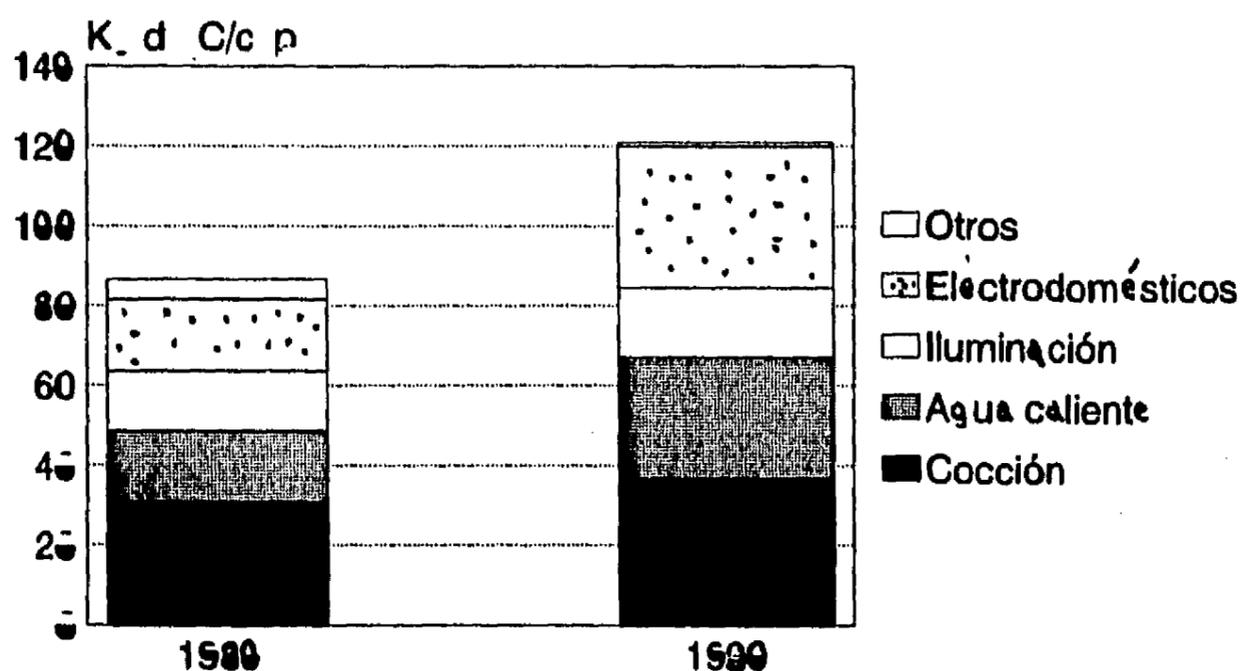


Figura 7.4

No se consideran las emisiones de bióxido de carbono del uso de la leña.  
Fuentes: Fuentes: SEMIP (1980, 1990), OECD (1990), CFE (1992), Cruzado (1994),  
Tovargner (1991).

**Tabla 7.2**  
**Emisiones per cápita debidas al uso de la leña**

	1980	1990
<b>CO (g/GJ)</b>	25.5	21.9
<b>NOx (g/GJ)</b>	492.9	423.4
<b>CO<sub>2</sub> (Kg/GJ)*</b>	86.3	74.1

Fuente: Eficiencia de conversión de la electricidad: SEMIP,  
Coeficientes de emisión: OCDE 1990.

\* CR: coeficiente de renovabilidad, en este caso se supone del 30 %.

De acuerdo con los valores totales de emisión, se estima que el sector residencial mexicano contribuye entre un 5 y un 10% a las emisiones de NOx, cerca de un 35% a las emisiones de CO y un 25% de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

## **Capítulo 8**

### **Potencial de ahorro y políticas de conservación y eficiencia energética en México**

El análisis del uso de la energía residencial en México revela la importante diferencia entre los subsectores urbano y rural. En éste último, domina el uso de la leña en las llamadas estufas de tres piedras y la baja penetración de los combustibles comerciales. En las ciudades, en cambio, se observa un importante crecimiento del uso de la energía eléctrica y del gas LP.

Durante las últimas dos décadas, la tendencia del uso de la energía residencial estuvo marcada por los cambios estructurales y socioeconómicos del país, mas no por políticas energéticas. El crecimiento relativo del subsector urbano, la reducción del tamaño del hogar, la disminución del uso de la leña, la electrificación y la penetración de mayor número de aparatos domésticos eléctricos y de gas LP, fueron los principales motores de esta evolución.

A futuro, es de esperarse que estos elementos sigan presentes. La difícil situación económica del campo mexicano, entre otros factores, apunta a que la migración hacia las ciudades continuará. De la misma manera, la presencia de un importante porcentaje de la población sin energía eléctrica y la baja saturación de los principales electrodomésticos, sugieren que estos indicadores seguirán presionando el aumento en la demanda. Así mismo, la apertura comercial del país, refuerza esta tendencia.

Durante los últimos años, la preocupación por desarrollar políticas de conservación de energía ha ido adquiriendo importancia en México principalmente en los que se refiere al uso de la electricidad, debido fundamentalmente a las dificultades de financiamiento de grandes inversiones. El uso de la leña y del gas LP en el sector residencial han estado prácticamente fuera de estos planes debido a la abundancia de petróleo en México y a que

la leña es un energético que en el corto plazo, no representa una proporción del gasto público.

La conservación de la electricidad es una necesidad urgente debido a la rápida expansión de la demanda y al alto costo de generación, sin embargo, no debe subestimarse la importancia de la conservación y eficiencia de los otros combustibles. En particular, el caso de la leña tiene interés ya que: (a) representa cerca de la mitad del uso de la energía residencial; (b) en diversos estados del país se enfrentan problemas de escasez de los recursos forestales; (c) su uso, en estufas de tres piedras, provoca serios daños a la salud y (d) los problemas ambientales globales asociados al efectos invernadero.

La causa principal de la deforestación en México, no la constituye el uso residencial de la madera como recurso energético (SEMIP 1987, Masera 1994, IIE 1986). En realidad no se conoce cuanto del uso de la leña se hace de forma renovable. Sin embargo, la actual deforestación generada por otras causas, hace cada vez más difícil la obtención de leña para los habitantes rurales en algunas regiones. De acuerdo con Masera (1994), la deforestación alcanza 670 000 ha/año tan sólo en los bosques cerrados y hay evidencias que sugieren que esto ha generado el incremento de la distancia de recolección y la escasez de ciertas especies en algunas regiones del país.

Adicionalmente, la combustión de leña a fuego abierto, ha demostrado provocar altos niveles de contaminantes, que provocan enfermedades pulmonares. A pesar de que no hay estudios que hayan medido los niveles de contaminantes en las viviendas que utilizan este energético, existen evidencias en México, de una correlación entre las mujeres que utilizan la leña para la cocción en fuego abierto (estufas de tres piedras) y enfermedades respiratorias (Onofre y Pérez 1991, Selman 1992). Finalmente el uso no renovable de la leña provoca impactos ambientales en los suelos y emisiones de gases invernadero.

## **8.1 Algunos ejemplos del potencial técnico de conservación**

En esta sección se presentan algunos ejemplos del ahorro de energía que podría lograrse si se sustituyeran las tecnologías actuales por tecnologías más eficientes. Es conveniente mencionar, que además de la sustitución tecnológica, la eficiencia energética

puede lograrse mejorando la forma de uso de las tecnologías. Por ejemplo, se puede aumentar la eficiencia del calentamiento de agua en una olla con sólo colocar una tapa que evite las pérdidas de calor por evaporación. Algunos de estos ejemplos son mencionados a lo largo de esta sección, sin embargo, para cuantificar el potencial de ahorro debido al mejoramiento de la tecnología sería necesario realizar un estudio más detallado que describiera la forma de uso actual. Algunos ejemplos de ello son descritos por Masera et al. (1991) y Dutt (1993).

El capítulo 5 contiene un desglose detallado de las oportunidades tecnológicas para el ahorro de energía en electrodomésticos en los países de la OCDE. Por esta razón, en este capítulo no se abunda en la explicación de algunas alternativas y solamente se mencionan y se comparan con el valor del consumo promedio.

### **8.1.1 Cocción con gas**

Las estufas de gas LP o gas natural que tienen mayor penetración en el mercado son de cuatro quemadores, con pilotos y horno. Para este tipo de dispositivos el mayor ahorro de energía proviene de la utilización de encendido por chispa y de modificaciones en el diseño que den la distancia óptima entre la olla y la flama. Estas modificaciones podrían generar un aumento en la eficiencia en cerca de un 20%, respecto a los modelos actuales ( U.S. DOE 1993).

Otra manera de ahorrar energía en la cocción de alimentos es eficientizando el proceso de cocinado. Esto puede lograrse disminuyendo las pérdidas por evaporación con tapas adecuadas para las ollas, aumentando el aislamiento de las mismas y utilizando ollas de presión. Los ahorros que pueden lograrse en la cocción de alimentos cuya preparación requiere de agua caliente, son entre 10 y 40% (Bathia 1980).

Hasta el momento, el gas LP es el energético predominante en la cocción de alimentos. Algo que podría aumentar la eficiencia (en el punto de uso), sería la utilización de la electricidad para cocción. Sin embargo, los problemas que en la actualidad se tienen para proveer la creciente demanda de esta fuente de energía, así como los efectos ambientales que genera la producción de electricidad con combustibles fósiles, hacen que esta sea una alternativa poco viable para México.

### **8.1.2 Cocción con leña**

La leña para la cocción se utiliza principalmente en la estufa de tres piedras que tiene una eficiencia cercana al 17% (Dutt et al 1989). Existen dos formas de promover la eficiencia para este uso. La primera es la sustitución de combustible y la segunda son las estufas mejoradas de leña. Estas alternativas no son excluyentes debido a que un importante número de familias rurales que han adquirido estufas de gas, siguen utilizando leña para la cocción de tortillas.

Debido a la baja eficiencia de las estufas de tres piedras, la sustitución de éstas por gas LP representa una disminución en las pérdidas por combustión del 22% (Dutt 1989, Leach & Gowen 1989). Para aquellos casos en el que las tres piedras son utilizadas para la cocción de tortillas y el gas LP para los demás alimentos el potencial de ahorro disminuye a la mitad.

Las estufas mejoradas de leña como alternativa a las tres piedras son diversas. En México se han promovido las llamadas Lorenas, originarias de Guatemala (Navia 1991), que aumentan la eficiencia en la cocción de tortillas en alrededor del 50% (Sheinbaum 1989). Estas estufas son construidas con barro y arena, pueden tener dos quemadores además del comal y utilizan una chimenea para expulsar los gases producidos durante la combustión. Modelos similares, que han logrado un aumento en la eficiencia de entre 15 y 45% se han desarrollado en la India (Lokras et al. 1983). Otros modelos más portátiles se han desarrollado también en Kenia, Brundi, Haití, Senegal, entre otros países (Baldwin 1987, Leach & Gowan 1987, Dutt 1993).

### **8.1.3 Calentamiento de agua con gas**

El calentador de gas LP que más se utiliza en México consiste de un tanque que almacena agua caliente después de haber sido calentada por un quemador. Algunos de estos calentadores son manuales (sólo se encienden cuando se necesita el agua caliente) y otros, de mayor consumo, tienen un termostato que mantiene el agua a una temperatura constante. La eficiencia de estos dispositivos es baja debido principalmente a las pérdidas de calor en el almacenamiento y distribución del agua caliente. Los ahorros de energía más significativos, entre 10 y 20% dependiendo del calentador base, pueden lograrse: (a) aislando el calentador y los tubos de distribución y (b) utilizando encendido electrónico y aumentando la eficiencia de los quemadores.

Una ahorro de energía mayor se obtiene cuando se utilizan los llamados calentadores de paso (entre 30 y 40%), debido a que se evitan las pérdidas por almacenamiento de agua. Algunos de éstos son utilizados en edificios en algunas ciudades de México. Adicionalmente, el uso de regaderas más eficientes disminuye el consumo de agua caliente y por lo tanto se ahorra energía.

Finalmente, una parte importante de la demanda de gas LP para el calentamiento de agua podría sustituirse con el uso de calentadores solares. Esta tecnología es sencilla y de bajo costo, por lo que podría constituir, ya sea en uso único o mixto (solar y gas LP, por ejemplo) un importante potencial de ahorro tanto en las ciudades como en el campo mexicano.

### **8.1.3 Calentamiento de agua con leña**

Es difícil establecer el potencial de ahorro para el calentamiento de agua con leña. En el caso del uso de las tres piedras, muchas veces se calienta el agua con los residuos de fuego o calor que quedan después de la cocción de alimentos.

En general puede decirse que el mayor potencial de ahorro proviene del uso de los calentadores solares y en el caso de calentadores de leña, a través del aislamiento de los mismos.

### **8.1.4 Iluminación**

Cerca del 13% de la población mexicana no tiene acceso al servicio eléctrico, por lo que utiliza petróleo diáfano, velas, leña y/o gas LP para cubrir sus necesidades de iluminación. De acuerdo con Dutt (1993), el cambio de una lámpara de keroseno por una bombilla incandescente de 60 Watts incrementa la calidad de la iluminación de 40 a 730 lúmenes y el ahorro es casi del 50% incluso tomando en cuenta las pérdidas por la generación de la electricidad.

La electricidad es la forma de energía más eficiente para la iluminación, por lo que la alternativa más eficiente para ese 13% de la población, es la provisión de servicio eléctrico. Los diversas formas de generación descentralizada de electricidad no se revisan

en este trabajo, pero representan una alternativa costeable dependiendo de la región (Dutt 1993, Huacuz 1991, Martínez et al. 1991, Alonso & Rodríguez 1985).

En la iluminación por electricidad, un ahorro de energía de entre 50 y 75% proviene de la sustitución de focos incandescentes por compactos fluorescentes. Existen diversos trabajos que reportan la viabilidad económica de esta sustitución para la mayoría de los estratos de consumo de electricidad residencial. El más reciente se basa en un estudio realizado en las ciudades de Guadalajara y Monterrey (Sathaye et al 1994). El ahorro de energía en la iluminación residencial es además particularmente importante ya que contribuye en por lo menos 14% de la demanda pico de electricidad (Friedmann 1993).

#### **8.1.5 Refrigeración, televisión y aire acondicionado**

Se estima que el refrigerador promedio mexicano consume entre 500 y 700 kwh por vivienda al año (Friedmann 1991). En 1990 ya se distribuía un refrigerador de 255 litros (el más popular), que consumía 350 kwh al año. Sin embargo existen modelos que alcanzan un consumo de hasta 100 kwh al año (Schipper & Hawk 1992).

En el caso de la televisión se pueden lograr ahorros de hasta el 50% dependiendo del modelo y el tamaño del mismo. En promedio un televisor en México tiene una potencia de entre 80 y 100 watts (Fernández 1991, Friedmann 1993). En los Estados Unidos, ésta es de 50 watts.

Respecto al aire acondicionado, un ahorro significativo puede lograrse con la adquisición de aparatos eficientes. El modelo actual, aire acondicionado por cuarto, tiene un consumo promedio de 1400 kwh al año. Dos formas de disminuir el uso de energía para enfriamiento del hogar son el aumento en el aislamiento de las casas y el uso de la energía solar pasiva y el otro es el aumento en la eficiencia de los aparatos. En el primer caso, existe la experiencia de un proyecto de CFE que consistió en aislar el techo de un conjunto de casas en Mexicali. El resultado fue un ahorro del 35% en el consumo de electricidad (Morales 1992). En el segundo caso se pueden lograr eficiencias de cerca del 20% (De Buen 1993).

## **8.2 Políticas de conservación y eficiencia**

En este apartado se proponen algunas de las políticas de conservación y eficiencia que pueden ser viables para México, tomando en cuenta las experiencias de los países de la OCDE y las características de uso de la energía en México.

### **8.2.1 Cocción con leña: estufas mejoradas y sustitución de combustibles**

#### **8.2.1.1 Sustitución de leña por gas LP**

Las dificultades principales para la penetración del gas LP en las comunidades rurales son la falta de carreteras accesibles para su distribución y la carencia de recursos económicos de la mayoría de los pobladores para adquirir tanques de almacenamiento y estufas de gas. Es posible desarrollar programas que ofrezcan mayor acceso del gas LP a los pobladores rurales de escasos recursos, promoviendo la incorporación al mercado tanques de gas más pequeños que puedan ser transportados más fácilmente y estufas de gas más accesibles (con dos quemadores y sin horno, por ejemplo). Para ello, se requeriría de programas de compra a créditos a través de las propias compañías de gas o de los gobiernos locales, permitiendo una mayor accesibilidad a este recurso.

#### **8.2.2.2 Estufas mejoradas**

La difusión de las estufas mejoradas no es un problema sencillo. Las tres piedras es una tecnología que ha sido utilizada por siglos en el campo mexicano y está incorporada culturalmente a la vida rural. Asimismo, tanto las tres piedras como la recolección de leña están fuera de los llamados mecanismos del mercado. Por esta razón, la población que quiere realizar la sustitución tecnológica debe estar involucrada en el proceso de diseño, prueba y difusión de las nuevas estufas. Esto requiere una relación en la investigación y desarrollo de esta tecnología, que involucre a las instituciones de investigación y extensión dedicadas al diseño y difusión respectivamente y a las comunidades rurales.

### **8.2.2 Programas de Información**

(a) **Campañas de información.** Estas debieran ir dirigidas a disminuir el uso excesivo o suntuario de la energía (apagar focos, etc.) y a disminuir la demanda pico (no usar electrodomésticos durante ciertas horas). En México hay experiencias de campañas de

información orientadas a disminuir el uso de la electricidad, sin embargo no se ha estudiado el efecto de las mismas.

En general, la experiencia de otros países muestra que estas campañas pueden ser útiles cuando son dirigidas hacia objetivos precisos o cuando están ligadas a programas concretos de ahorro de energía. En Alemania, por ejemplo, se han desarrollado campañas exitosas que informan al consumidor de cuales son los aparatos más eficientes (IEA 1988). En Brasil existe la experiencia contraria. Campañas de información muy costosas con muy poco éxito (Januzzi 1992).

(b) Las etiquetas consisten de anuncios en cada electrodoméstico en venta, que muestren al consumidor el uso y costo de energía anual de cada electrodoméstico. Esta medida se ha puesto ya en funcionamiento en México para algunos aparatos (Aguado 1993). El seguimiento de esta medida es necesaria, para poder evaluar sus efectos.

La experiencia brasileña es ejemplo de un programa exitoso, de como una política energética promovió la eficiencia de los aparatos domésticos. En 1984 Brasil inició un sistema de etiquetas y prueba de los nuevos refrigeradores. Este esfuerzo original, generó en un programa de reducción del uso de la energía en los refrigeradores a través de mejoras en el aislamiento, aumento en la eficiencia de los compresores, modificaciones en el diseño del ciclo del refrigerador y reducción en la potencia de las resistencias. Debido a las mejoras realizadas entre los años de 1986 y 1987, los refrigeradores brasileños permitieron el ahorro en 1989, de la generación de 100 MW eléctricos (Geller 1990).

(c) Elaboración de encuestas y entrevistas periódicas. Información específica y certera acerca del uso de la energía es necesaria si se pretende promover la eficiencia energética. Es imprescindible una base de datos nacional que registre periódicamente el uso de la energía residencial por usos finales. Su elaboración, aplicación y análisis requeriría de pocos recursos económicos adicionales, si es desarrollada a través de la cooperación de instituciones gubernamentales y educativas existentes.

## **8.2.3 Estándares de Regulación y Eficiencia**

### **8.2.3.1 Electrodomésticos**

Los estándares para electrodomésticos consisten de reglamentos que obligan a los productores a cumplir una mínima norma de eficiencia energética. Esta medida ha sido desarrollada en los Estados Unidos. En la actualidad, la CONAE, en cooperación con instituciones estadounidenses (USAID) se encuentran desarrollando normas para refrigeradores y algunos otros electrodomésticos. La meta de este programa es tener una norma acabada para mediados de 1994 (Landa 1993, Reyes 1993).<sup>63</sup>

Es importante mencionar, sin embargo, que un programa de estándares podría traer como consecuencia el aumento en los precios de los electrodomésticos. Esto limitaría aun más la compra de aparatos eficientes para las familias de bajos ingresos, obligándolas a adquirir aparatos usados que consumen más electricidad. Para evitar que los estándares se conviertan en una política que beneficie solamente a los de mayores recursos económicos, se requerirían programas de administración de la demanda, que faciliten la adquisición de electrodomésticos eficientes para las familias de bajos recursos.

### **8.2.3.2 Nuevas construcciones**

Una de las políticas energéticas que más éxito han tenido en los países de la OCDE han sido las regulaciones en el aislamiento de las nuevas construcciones. En México, regulaciones en las construcciones de nuevos edificios, que involucren medidas de eficiencia energética también está en diseño (Landa 1993).

Una política adicional que podría tener éxito a largo plazo, sería garantizar que las nuevas construcciones de casa habitación, tuvieran un diseño que les permitiera un menor consumo de energía, particularmente en la zona norte del país donde el clima es más extremo, electrodomésticos eficientes y calentadores de agua mixtos (solares y de gas LP). El incremento en el costo no sería mucho y estos podrían ser pagados en abonos por los nuevos propietarios (Rodríguez 1991). El diseño de una política de este tipo

---

<sup>63</sup>Debido a la disminución de las barreras comerciales entre México y Estados Unidos, los modelos de electrodomésticos de las grandes compañías estadounidenses han ido ganando mercado en México (ANFAD). Se podría suponer que esta situación por sí sola repercutirá en el aumento en la eficiencia de los nuevos electrodomésticos mexicanos. Sin embargo, nada limita a las compañías estadounidenses a vender tecnología ya desechada en su país de origen. De hecho, durante décadas, las compañías de electrodomésticos mexicanas (a través de licencias tecnológicas) o transnacionales (como otros países del Tercer Mundo) producían o comercializaban electrodomésticos mucho menos eficientes que los existentes en los países desarrollados. Por ello, el establecimiento de normas mexicanas de eficiencia para los aparatos domésticos es necesaria.

involucraría a las grandes constructoras de edificios, a los productores de aparatos domésticos y a las compañías eléctricas.

#### **8.2.4 Administración de la demanda**

Durante años, las compañías eléctricas y de gas han tenido como única perspectiva de su función, la de la oferta de la energía. Han jugado el rol de generar, transmitir y distribuir la electricidad o el gas. La administración de la demanda (o "*Demand Side Manegment DSM*") que consiste en ver a la eficiencia del consumo de energía en los usos finales, como un elemento de suministro y de optimización de la misma, debería ser incorporada en la perspectiva empresarial de estas compañías.

Una de las principales vías para lograr aumento en la eficiencia de los usos finales es la sustitución de tecnología convencional por eficiente. La participación de las compañías generadoras en la promoción de los dispositivos eficientes entre sus usuarios, es una de las formas más comunes de administración de la demanda. Esta es una política energética que ha sido desarrollada con éxito por diversas compañías eléctricas de los Estados Unidos. En México, la Comisión Federal de Electricidad<sup>64</sup> ha comenzado a desarrollar algunos proyectos piloto. El principal proyecto es conocido como ILUMEX (Sathaye et al 1994) y consiste en la promoción de lámparas compactas fluorescentes en las ciudades de Monterrey y Guadalajara.

Es importante tomar en cuenta que para promover la eficiencia energética en todos los estratos sociales, las políticas de administración de la demanda deben tomar en cuenta que las diferencias socioeconómicas de los usuarios. La rentabilidad de una sustitución tecnológica depende críticamente del precio de la energía, la inversión en las tecnologías, la vida y el consumo de energía de ambos dispositivos y de la tasa de descuento. Desde el punto de vista del usuario, la decisión de realizar una sustitución tecnológica depende principalmente de la viabilidad que tenga para realizar la inversión inicial y del tiempo en el que la recuperará. Evidentemente, mientras menor sea la capacidad de compra del usuario, menor posibilidad de realizar la sustitución tecnológica tendrá.

Las mejoras en la eficiencia pueden estar al alcance de la gente de menos ingresos económicos si se diseñan políticas orientadas a ello. Un ejemplo de éstas es convirtiendo el

---

<sup>64</sup>Este es otro proyecto conjunto entre CFE y USAID

pago inicial de la tecnología eficiente en varios pagos que coincidan en el tiempo con los ahorros (Reddy 1992).

### **8.2.5 Precios y políticas fiscales**

Como se explicó en el capítulo 5, el aumento en los precios de la energía ha sido una de las principales políticas de conservación. El aumento en el precio promueve a corto plazo la disminución del consumo suntuario y a largo plazo la inversión en aparatos más eficientes tanto de las compañías productoras de aparatos domésticos, como de los propios usuarios (Schipper y Meyers 1992).

Mientras que en los países desarrollados la discusión acerca del aumento en el precio de la energía se ha centrado en la adición de impuestos que reflejen el costo ambiental de la producción y uso de la misma (Pierman 1990), en los países del Tercer Mundo la polémica se circunscribe al mantenimiento o eliminación de los subsidios estatales (World Bank 1990).

En México, durante años, los precios de la electricidad, el gas y los derivados del petróleo para el sector residencial han estado subsidiados. Los objetivos originales de esta política, producto de una filosofía pública de mayor participación estatal sobre la economía, eran: (a) permitir el acceso del servicio energético a toda la población y (b) cobrar más al que más consumía. A principios de la década de los ochenta, el modelo de desarrollo del gobierno mexicano cambió. La liberalización de la economía y la disminución del control estatal se convirtieron en los nuevos paradigmas del desarrollo económico. En esta nueva lógica, los subsidios a los precios de la energía están tendiendo a desaparecer ya que desde la nueva perspectiva gubernamental, representan un déficit para el sector público (Informes de Gobierno 1990 y 1993).

Sin embargo, es importante resaltar, que la polémica acerca de la viabilidad o no del subsidio estatal es poco útil sino se analiza la forma y contexto en el que se da. Si bien es cierto que los subsidios que impulsan los bajos precios de la energía permiten promover el acceso al servicio energético de sectores sociales empobrecidos, también lo es, el que los subsidios mal orientados acaban por beneficiar a los estratos sociales de mayores ingresos y promueven el uso indiscriminado de las fuentes energéticas (Bhatia 1984, Turner et al. 1993).

Si se parte de la premisa de que la eficiencia energética y la equidad social no son conceptos antagónicos y se asume a ambas como objetivos de la política energética, la polémica no girará en torno a la necesidad o no de subsidios, sino en torno a la mejor manera de cumplir con la premisa expuesta. Adicionalmente, la modificación de los precios de la energía no debe verse como una medida aislada. Esta puede ir acompañada de políticas de manejo de la demanda que permitan mantener el mismo servicio energético a un precio accesible para los diferentes estratos sociales.

En México, en la actualidad, los subsidios a la energía siguen representando la posibilidad de acceso de muchos usuarios al servicio energético. Sin embargo, en la forma en la que están diseñadas las tarifas, principalmente de la electricidad, se está subsidiando en gran medida a aquellos usuarios que más consumen. Un consumidor que utiliza más de 200 kwh al mes paga a un bajo costo los kwh que están entre 1 y 199 y solamente paga un valor semejante al costo marginal de la producción y distribución de la electricidad, para los kwh que excedan 200 kwh de consumo. En 1991 solamente el 10% de los usuarios utilizaba más de 200 kwh al mes.

Desgraciadamente, los incrementos de mayor magnitud al precio de la electricidad ocurridos en los últimos cinco años (el llamado cargo fijo) promovieron un aumento mayor a los usuarios de menor consumo (Sheinbaum 1993). En un país donde el 40% de su población es oficialmente pobre y casi el 12% se encuentra en extrema miseria (INEGI 1990), la disminución del subsidio a la electricidad (y por lo tanto el aumento en su precio), puede traer consigo una exclusión de usuarios del servicio eléctrico. Si desaparecieran por completo los subsidios, sin ningún otro programa adicional, se promoverá cierta eficiencia energética en la clase media alta, sin embargo, para una parte importante de la población que ha perdido o no tiene capacidad de compra, el ahorro sería causado por una exclusión de los beneficios del servicio.

Esta situación indica que la redefinición de las tarifas eléctricas y del precio del gas LP no es un problema sencillo de resolver. Sin embargo, en una lógica de promoción de la eficiencia energética con equidad social (Newbery 1984), tres lineamientos son importantes en la definición de las políticas de precios de la energía residencial en México: (1) Debe garantizarse el servicio energético a la población de escasos recursos económicos. (2) Las modificaciones en el precio de la energía deben ir acompañadas de programas de manejo de la demanda que permitan a la población, en particular la de escasos recursos, acceder a la tecnología más eficientes (Reddy 1990, Masera 1991, Dutt

1993) y (3) Es necesaria una redefinición de las tarifas eléctricas residenciales, donde se elimine el subsidio a aquellos que no lo necesitan.

### **8.2.6 Investigación y desarrollo**

En México existe poca investigación y el desarrollo tecnológico para el sector doméstico. En general, la innovación tecnológica ha sido proveída por las grandes transnacionales ya sea a través de la venta directa o a través de las licencias tecnológicas adquiridas por las compañías nacionales (Sosa 1992). Esta situación ha fomentado diversos problemas relacionados con el uso de energía en el sector residencial. En este trabajo interesa resaltar dos. Uno es la falta de desarrollo tecnológico más apropiado a las necesidades de cada región del país (por ejemplo estufas y tanques de gas LP más apropiados para el sector rural, estufas mejoradas de leña, electrodomésticos más pequeños, etc.) y el otro es la difusión de tecnología poco eficiente. Durante años las compañías transnacionales transfirieron tecnología anticuada a los países en desarrollo, generando una distancia cada vez mayor entre los aparatos domésticos utilizados en los países industrializados y los del Tercer Mundo.

Con la apertura comercial ocurrida desde finales de la década de los ochenta, el proceso de dependencia tecnológica de México hacia los países industrializados, en particular Estados Unidos, ha tendido a incrementarse (Castells & Laserna 1989). En la competencia con las compañías transnacionales, las pocas compañías nacionales de aparatos domésticos han quedado fuera del mercado o se han unificado a las grandes compañías estadounidenses (en las llamadas join-ventures, Friedmann 1993). Esto es particularmente cierto en la producción de tecnología eléctrica debido a su alto nivel de concentración. Alrededor de 50 firmas producen el mayor porcentaje de la ventas y poseen el control de la tecnología, que va desde las turbinas de generación, hasta los aparatos domésticos (Newfarmer 1980).<sup>65</sup>

Adicionalmente, la investigación relacionada con la difusión de la tecnología y la planeación energética, es realizada en muchas ocasiones por consultorías o firmas extranjeras, sin relación con instituciones mexicanas. En la actualidad por ejemplo, proyectos de conservación de energía y potencial de fuentes renovables en México están a

---

<sup>65</sup>Ya en 1975, las industrias líderes tenían subsidiarias en por lo menos 10 países y alrededor de un cuarto de sus ganancias se originaba en los países del Tercer Mundo. En conjunto, estas industrias producían ventas anuales mayores que el producto interno bruto de países en desarrollo como México o la India (Newfarmer 1980).

cargo de consultarías estadounidenses.<sup>66</sup> Esta situación limita tanto los propios proyectos (por el desconocimiento de la realidad del país) como el desarrollo de la experiencia en investigación y la difusión de la misma en las propias instituciones de investigación mexicanas.

Como se ha reconocido, a lo largo de este trabajo, existen características específicas del uso de la energía residencial en México, que se alejan de la realidad de los países industrializados. El desarrollo de políticas de conservación y eficiencia deben tomar en cuenta esta situación. En esta perspectiva, una mayor relación entre las instituciones de investigación, las compañías eléctricas y de gas LP mexicanas, las compañías productoras de aparatos domésticos y las agencias y consultarías internacionales es necesaria para promover tanto tecnología más eficiente como políticas de conservación adecuadas para el sector residencial mexicano.

### **8.3 Barreras**

A pesar de la viabilidad técnica y económica de diversas tecnológicas eficientes y de políticas de conservación energética, existen barreras u obstáculos que impiden la aplicación de estas alternativas (ver por ejemplo, Reddy 1991, Munasinghe 1990, Dutt 1993, Geller 1990a, Philips 1990, etc.).

En México la conservación de la energía comenzó a ser una preocupación institucional hacia finales de los años ochenta. En 1989 se creó la Comisión Nacional de Ahorro de Energía, en la que están involucradas siete secretarías de gobierno. En el sector residencial se han impulsado diversos proyectos como son la promoción de etiquetas y la preparación de estándares de eficiencia para los electrodomésticos, así como el Programa Nacional de Leña. Algunos problemas y barreras a los que se enfrentan estos y otros programas son expuestos a continuación.

---

<sup>66</sup>Por ejemplo el Proyecto piloto de Administración de la Demanda realizados por USAID y RCG/Hagler, Bailly, INC. o la el proyecto de expansión de energías renovables realizado con un préstamos del World Bank está a cargo de la firma Meridan Cooperation (Landa 1993)

### **8.3.1 Falta de información**

La falta de información es una de las principales barreras para la promoción de políticas de conservación y eficiencia energética. Esta carencia afecta a distintos sectores involucrados en el proceso de generación, distribución y uso final de la energía. En este apartado se discuten dos problemas relacionados con la carencia de información. Uno que involucra directamente al usuario y el otro que se refiere a la carencia de una base datos accesible acerca de los usos finales de la energía.

#### **8.3.1.1 Información a los usuarios**

Sin información acerca de las alternativas energéticas más eficientes y de los beneficios que éstas proveen, los usuarios no realizarán una sustitución tecnológica. El programa de etiquetas que ha empezado a implementarse en algunos aparatos puede ayudar a salvar esta deuda informativa. Ejemplos de otras alternativas son los llamados "menús de tecnología" que se han desarrollado en Estados Unidos o en Dinamarca (Gjelstrup et al. 1989). Estos consisten de una breve lista que explica cuales son las alternativas tecnológicas y los costos para los diferentes usos finales.

#### **8.3.1.2 Base de datos nacional sobre los usos finales de la energía.**

Como se mencionó anteriormente, la aplicación de políticas de conservación de energía, así como su evaluación, requieren de un seguimiento periódico del consumo de energía residencial en sus diversos usos finales. La carencia de información detallada, impide la planeación de políticas de energía concretas. En el capítulo 6 de este trabajo se intentó desagregar el uso de la energía residencial por usos finales en México, con base en encuestas y estudios que diversas instituciones y analistas han realizado. Sin embargo, la base de datos es insuficiente, debido a la carencia de información. Es imprescindible actualizar y mejorar la base de datos que aquí se presenta. Como se menciona anteriormente, es factible la aplicación de una encuesta nacional periódica sobre uso de energía residencial utilizando la infraestructura educativa e institucional que ya existe en México.

### **8.3.2 Inercia institucional**

Otra barrera para la aplicación de las políticas energéticas es la llamada inercia institucional (Lovins 1989, Reddy 1991, Geller 1989). En México, esto se refiere

principalmente a la dificultad que tienen CFE y PEMEX para cambiar la forma tradicional de planeación y resolución de los problemas energéticos.

#### **8.3.2.1 La lógica de la oferta**

Durante años, los objetivos y la estructura organizativa con la que fueron concebidas las compañías eléctricas y de petróleo correspondía a una visión en donde la generación de energía era la única forma de cubrir la demanda. En esta concepción, el ahorro y la conservación de energía producidos en el lado de la demanda, no tienen lugar. Esto ocurre en México con la Compañía Federal de Electricidad, PEMEX y las compañías suministradoras de gas LP (Friedmann 1993, Maserá et al 1991).

En México ha habido algunos esfuerzos dentro de las compañías generadoras, encaminados a promover el ahorro de energía. Ejemplo de ello en CFE, es la creación del Programa Nacional de Uso Racional de Energía Eléctrica (PRONURE), el cual dio lugar al PAESE y el Fideicomiso de Apoyo al Programa de Energía (FIDE) que ha promovido algunos proyectos pilotos de conservación de energía. En el caso de PEMEX en 1984 se creó el Programa de Conservación y Ahorro de Energía (PROCAE) (Ambriz & Romero 1991). Aún cuando los programas de CFE han dado algunos resultados, su esfuerzo es limitado comparado con los recursos y proyectos relacionados con la concepción tradicional de construir nuevas plantas generadoras.

Otro de los grandes problemas que genera una gran inercia institucional al cambio, es la gran centralización de las grandes compañías (Reddy 1991). En el caso de la CFE en México, este problema y la necesidad de la descentralización y su viabilidad, son explicados en detalle por Monteforte (1992) y Viqueira (1993).

#### **8.3.3 Los fabricantes de enseres domésticos**

Para los fabricantes de enseres domésticos mexicanos o transnacionales con distribución nacional, la eficiencia energética nunca ha sido un problema a tomar en cuenta

para el diseño de los aparatos.<sup>67</sup> En la actualidad, los programas de etiquetas de información y estándares de eficiencia forzarán a los fabricantes a hacerlo. Los resultados de estos proyectos deberán ser evaluados.

### **8.3.4 Seguimiento y evaluación de proyectos**

En México, existen un importante número de proyectos de ahorro de energía y fuentes renovables que han sido impulsados por diferentes administraciones gubernamentales. Sin embargo, al cambiar la administración, se pierde por completo el seguimiento del proyecto. Nuevos planes sexenales entran en vigor y los esfuerzos anteriores se pierden o simplemente dejan de financiarse. Por si fuera poco, la información generada por un equipo de trabajo queda inaccesible para el otro. Esta es una barrera enorme para la instauración de proyectos de conservación de energía, que requieren de tiempos largos de evaluación y de información disponible para su seguimiento.

### **8.3.5 Desconfianza del usuario**

Una barrera adicional en el éxito de los programas de ahorro es la falta de confianza de los usuarios respecto a la utilización del dinero que se recuperaría en caso del aumento en el precios de la electricidad y el gas LP. No es novedoso decir que en México existe una alta desconfianza debido a la corrupción en el gobierno. La incorporación de los propios usuarios en los planes de ahorro, así como la publicación periódica de las finanzas, allanaría el camino para el éxito de políticas de conservación de energía.

### **8.3.6 Precio de la energía y distribución de la riqueza**

La creciente polarización en la distribución de la riqueza está generando un uso ineficiente de la energía, tanto de los estratos de altos como en los de bajos ingresos. En el caso de los sectores de altos ingresos, la energía es solamente una fracción de su gasto mensual y por lo tanto la conservación no es una preocupación. En los sectores más empobrecidos, la falta de recursos y créditos de bajo interés, les hace inaccesible la compra de aparatos eficientes o la sustitución de combustibles.

---

<sup>67</sup> Para mayor discusión sobre este punto ver sección 8.2.5.

**La injusta distribución de la riqueza en nuestro país se hace cada vez más profunda. Las políticas de conservación de energía no deben ser un elemento adicional en esa diferenciación, por el contrario deben tender hacia la generación de un mayor bienestar de toda la población. La eficiencia energética no tiene por que oponerse a un desarrollo social más justo.**

## **Capítulo 9**

### **Conclusiones**

La demanda energética del sector residencial mexicano, que representa cerca del 20% de la energía final del país, creció a una tasa anual promedio del 3.1% entre 1970 y 1990. Si esta tendencia continua, la demanda de energía residencial aumentará en más de dos veces respecto a su nivel de 1990. En el contexto de las dificultades financieras del país para invertir en grandes proyectos energéticos, de los problemas ambientales locales y globales, y de la pobreza de cerca del 50% de la población mexicana (INEGI 1990), la perspectiva de que la oferta de energía crezca al ritmo de la demanda actual, es impensable. Esto obliga a replantear los patrones de uso de la energía y a construir nuevas políticas de conservación y eficiencia energética más limpias, económicas y equitativas.

Mientras que en los países de la OCDE existe una basta experiencia en programas de eficiencia energética, en México, es reciente la preocupación institucional por instaurar este tipo de políticas. En este sentido, es sumamente útil el análisis de los éxitos y fracasos de los planes de energía residencial de otros países, no para que sean aplicados automáticamente en México, sino para tener una referencia básica en el contexto de la realidad económica y energética mexicana.

En este trabajo se analizaron las tendencias del uso de la energía residencial en nueve de los países fundadores de la OCDE entre 1973 y 1990 y en México entre 1980 y 1990, utilizando la metodología de "abajo hacia arriba" o "por usos finales". Del mismo modo, fueron presentados para todos los países, un análisis econométrico del uso agregado de la energía residencial, un balance de las emisiones de óxidos de carbono (CO y CO<sub>2</sub>), bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno debidas al uso de energía residencial, el potencial técnico de conservación y eficiencia, y las políticas más importantes de conservación y eficiencia energética para el sector residencial.

En este capítulo de conclusiones, se presenta un resumen de los resultados más importantes obtenidos en el análisis de las tendencias del uso de la energía residencial en los países industrializados de la OCDE y México. Asimismo, se hace especial énfasis en el potencial de ahorro de energía y las políticas de conservación y eficiencia para el caso mexicano.

## **9.1 OCDE**

En el estudio por usos finales en los países de la OCDE se encontró que la disminución en la intensidad energética para calefacción, uso final que representa aproximadamente el 60% --con excepción de Japón en donde representa cerca del 40%-- de la energía residencial de los países en el estudio, fue la causa principal de la caída del uso de la energía del sector. Después de 1973, la mayoría de los países de la OCDE introdujeron regulaciones térmicas para las nuevas construcciones, lo que mejoró el aislamiento de las paredes y techos de las viviendas, promovió el incremento en el uso de la energía solar pasiva (diseño y orientación de las viviendas) y la eficiencia de la tecnología para calefacción (ya sea central o por cuarto). Del mismo modo, los altos precios de la energía en el periodo 1973-1985, provocaron la reducción de las temperaturas interiores por algunos años. La Tabla 9.1 muestra la disminución general de la intensidad energética para los diferentes usos finales de los nueve países de la OCDE seleccionados para este estudio.

Los requerimientos de energía para calentamiento de agua variaron sin tendencia clara, debido a cambios tecnológicos como son el aumento de la eficiencia en los calentadores de agua, el incremento en el aislamiento de los mismos, la aparición de nuevos detergentes para ropa que requieren agua menos caliente; así como al aumento en la saturación de lavadoras de ropa y platos y algunos elementos de comportamiento o costumbre de los usuarios como la variación de la temperatura para baño. En aquellos países donde se registró un aumento en el consumo de energía para este uso, se debió también a la introducción de calefacción central.

En el caso de la cocción, en la mayoría de los países se presentó una disminución en el uso de energía por vivienda. Sin embargo, es difícil explicar la causa de los cambios ocurridos. La falta de estudios detallados sobre los cambios en los hábitos de cocción, así

como la introducción de una variedad inmensa de pequeños electrodomésticos y comida pre-cocida, hace aún más difícil el análisis. La forma de cocinado ha cambiado considerablemente como resultado de la disminución en el número de habitantes por hogar, la mayor participación de la mujer en la fuerza de trabajo, la introducción de aparatos electrodomésticos para cocinado como el horno de microondas y cambios en los hábitos como las comidas fuera de casa. La dificultad de medir los cambios debidos a estos efectos estructurales limita la medición de la intensidad energética como el uso de la energía neta por hogar.

La energía eléctrica para iluminación por metro cuadrado aumentó en siete países, disminuyó ligeramente en Gran Bretaña y en mayor medida en Estados Unidos. La diferencia en las tendencias en las cuatro regiones hace difícil analizar patrones de comportamiento similares o factores comunes que hayan afectado a los nueve países en su conjunto. La disminución en el consumo en Estados Unidos pudo deberse a la introducción de focos más eficientes, cambios en el comportamiento (apagar luces en cuartos que no estén ocupados), y/o cambios en el tiempo de estancia en el hogar (U.S. DOE 1987, Schipper et al. 1989). En el caso de las otras regiones, se requerirían estudios más detallados que pudieran explicar el comportamiento del consumo de energía para iluminación en los diversos periodos.

La utilización de la energía para electrodomésticos tuvo el mayor crecimiento en los últimos 20 años en todos los países de la OCDE. Este uso incluye la preservación de alimentos (refrigeración y congelación), lavado y secado de ropa, lavado de trastes, aire acondicionado, entretenimiento (televisión, radio, etc.) y otros usos misceláneos (que van desde los calentadores de albercas hasta los relojes despertadores eléctricos). A pesar de que en todos los casos el consumo unitario de energía (CUE) de cada electrodoméstico disminuyó, el incremento en el volumen y la diversificación de las características de la mayoría de los electrodomésticos opacó los cambios en la eficiencia.

**Tabla 9.1**  
**Intensidades Energéticas por usos finales**  
**Países de la OCDE**  
**1973-1990**

Países	Calef		Agua		Cocc.		Ilumi		Elect.	
	1973	(kj/m2/dg /viv)* 1990	Cal. 1973	(GJ/viv) 1990	1973	(GJ/viv) 1990	1973	(GJ/m2) 1990	1973	(GJ/viv) 1990
<b>EUA</b>	195.0	112.0	17.1	13.6	5.0	3.6	31.8	27.9	17.4	21.6
<b>Japón</b>	45.2	46.7	5.6	7.8	0.9	1.0	18.9	20.7	6.6	11.7
<b>Alem.</b>	208.6	150.9	5.0	6.0	2.3	1.5	11.0	12.0	4.3	7.1
<b>Fran.</b>	220.0	158.0	6.3	8.2	4.0	3.4	9.9	10.4	3.6	6.4
<b>Ital.</b>	177.1	129.9	5.1	7.5	3.3	3.6	12.3	13.1	1.9	4.1
<b>G.B.</b>	152.2	141.0	24.8	15.5	6.8	3.8	15.0	14.9	2.8	5.2
<b>Suec.</b>	132.1	89.1	24.2	18.0	2.2	1.8	8.7	20.6	8.5	12.1
<b>Din.</b>	220.4	111.5	16.6	13.4	2.4	2.2	15.9	18.6	5.4	6.1
<b>Nor.</b>	100.0	100	13.7	15.1	2.4	1.9	47.7	61.0	9.8	13.5

\* kilo-Joule/metro cuadrado/vivienda/día grado

En el análisis realizado a lo largo de este trabajo, se encontró que dos elementos provocaron efectos contrarios en la evolución del uso de la energía residencial para todos los países. Por un lado, los efectos estructurales y poblacionales presionaron en el aumento del uso de la energía. Por otro, la disminución de la intensidad energética promovió la reducción del uso de la misma. Los efectos estructurales más importantes fueron la disminución en el tamaño del hogar (personas por residencia), el aumento en la superficie de las viviendas, el incremento, tanto en la saturación de calefacción central y aparatos domésticos, como en el volumen y la diversificación de las características de la mayoría de los electrodomésticos. Por otro lado, la disminución en la intensidad energética fue producto del aumento en la eficiencia de refrigeradores, lavadoras de ropa y platos, secadoras, calentadores y estufas, del mejor aislamiento de paredes y techos en las viviendas y en algunos casos, del uso de energía solar pasiva.

Para poder analizar las causas de las tendencias de cambio del uso de la energía residencial en cada país o región de la OCDE, se aislaron los efectos poblacionales, estructurales y de intensidad energética para cada uso final. Si se agregan los índices de cambio estructurales de cada uno de los usos finales se puede observar que el cambio estructural total en el consumo de energía residencial para las nueve naciones fue positivo. Europa registró los mayores cambios y Estados Unidos el de menores. La Tabla 9.2 muestra los tres tipos de cambios para los nueve países industrializados.

En el análisis de las emisiones del CO<sub>2</sub>, el CO, SO<sub>2</sub> y el NO<sub>x</sub>, debidas al uso de la energía residencial por usos finales solamente en Francia, Suecia, Noruega y Gran Bretaña se registró una disminución notable de las emisión de CO. En relación a las emisiones de NO<sub>x</sub> nuevamente Francia, Suecia y Gran Bretaña disminuyeron sus emisiones per cápita. Las emisiones de SO<sub>2</sub> debidas al uso de la electricidad residencial, decrecieron en 7 de las nueve naciones: Francia e Italia. En los dos, el crecimiento del uso de la electricidad para calefacción fue mayor que la disminución del índice de emisión de SO<sub>2</sub><sup>68</sup>. Las emisiones de CO<sub>2</sub> decrecieron en todos los países excepto en Japón e Italia. El decremento de los distintos contaminantes o gases invernadero se debió a diferentes razones entre las que se encuentran reducción en las intensidades energéticas, la caída en la importancia relativa del carbón y del petróleo como energía final y de los combustibles fósiles en la producción de electricidad. En Italia y Japón, el incremento en la emisión de CO<sub>2</sub> se debió a la penetración de electrodomésticos y a la importancia del carbón en la producción de electricidad.

**Tabla 9.2**  
**Cambios en el uso de energía residencial**  
**Países industrializados de la OCDE**  
**1973-1990**  
**(%)**

Países	Poblacionales	Estructurales	Intensidad	Reales
<b>EUA</b>	18.3	18.7	-35.5	-4.1
<b>Japón</b>	15.2	20.1	23.9	72.6
<b>Alem.</b>	2.9	56.4	-35.8	5.2
<b>Fran.</b>	8.4	42.6	-31.4	1.7
<b>Ital.</b>	5.1	48.6	-20.7	21.2
<b>G.B.</b>	2.4	35.8	-28.7	0.3
<b>Suec.</b>	5.3	25.8	-31.7	-4.5
<b>Din.</b>	2.9	27.4	-44.3	-26.6
<b>Nor.</b>	7.1	27.8	2.8	47.6

Una de las conclusiones más importantes de este análisis es que no basta disminuir las intensidades energéticas si la electricidad se sigue generando con combustibles fósiles. Esto significa que el aumento en la eficiencia de la producción eléctrica y las alternativas

<sup>68</sup>Debe tomarse en cuenta que en el cálculo de las emisiones de SO<sub>2</sub>, no se considera la disminución del contenido de azufre en el petróleo y el carbón utilizado en las termoeléctricas. En ambos casos se utiliza un promedio para todo el periodo (ver capítulo 4 para especificaciones del cálculo de las emisiones).

renovables a la producción de electricidad son de fundamental importancia en la reducción de estos contaminantes y gases invernadero.

En el análisis econométrico se encontró que la elasticidad energía-gasto privado (GP) fue la más importante en las cuatro regiones (Europa-4, Escandinavia-3, Estados Unidos y Japón) en la evolución del uso de la energía residencial, lo que significa que el aumento en el gasto privado (correlacionado con el ingreso), fue la variable más importante en el cambio del uso de la energía residencial per cápita. Esta variable determina en la mayoría de los casos el tamaño del hogar y la superficie de la vivienda (importante correlación entre estas variables). La elasticidad energía-precio (P) resulta ser más significativa en Estados Unidos, Europa-4 y Escandinavia-3, ya que en estas regiones es donde ha sido mayor el cambio en el precio de la energía y por lo tanto existe una mayor influencia de esta variable en la demanda.

A futuro es lógico suponer que los cambios estructurales no tendrán tanto peso como en las décadas anteriores, debido a que las tecnologías más importantes están virtualmente saturadas en Europa y Estados Unidos (calefacción central, calentadores de agua, estufas, refrigeradores y lavadoras de ropa). Sin embargo, el elemento estructural asociado al incremento en el tamaño de los televisores o los refrigeradores, o la compra de electrodomésticos que todavía no alcanzan la saturación como es el caso de las secadoras de ropa, seguirá teniendo efecto.

Como se menciona a lo largo del trabajo, el alto precio de la energía registrado en 1973 y a principios de los ochenta, influyó de manera definitiva en los cambios del uso de la energía residencial en los países de la OCDE. Sin embargo, a partir de 1985-86 el precio de los energéticos decreció en la mayoría de los países. Como se muestra en este trabajo, esta caída ha provocado una desaceleración en la tendencia de disminución de la demanda energética. Por ejemplo, entre 1985 y 1990 la intensidad energética para calefacción registró un decremento anual de 0.52% para Europa-4, 1.74% para Estados Unidos, 1.71 para Japón y creció 1.19 en Escandinavia-3. De no haber sido por la aplicación de diversas políticas de conservación, como es el caso de los estándares en edificios y viviendas o las políticas fiscales, el crecimiento en el uso de la energía en los últimos años hubiera sido mayor.

Es difícil suponer que en el futuro habrá aumentos significativos en el precio de la energía debido a la seguridad en el suministro del petróleo. Por un lado y como explica

Holdren (1992), la escasez de recursos fósiles no parece tener importancia en las próximas dos décadas. Asimismo, la experiencia de la guerra del Golfo Pérsico sugiere que el mercado petrolero mundial ha aprendido a manejar interrupciones temporales en el suministro de este hidrocarburo sin efectos económicos mundiales mayores. Finalmente, se estima que habrá un suministro adicional de petróleo mundial provocado por la modernización de la industria petrolera en Rusia (Schipper & Martinot 1993).

Este panorama sugiere que el mercado internacional del petróleo no será un factor que presione para la disminución en el uso de la energía. En la actualidad, los problemas ambientales locales y globales así como las dificultades financieras de los países no industrializados son las fuerzas de mayor influencia en el impulso de programas de conservación y eficiencia energética.

## **9.2. México<sup>69</sup>**

Antes de presentar las conclusiones más importantes acerca de las tendencias del uso de energía en el sector residencial mexicano, es importante mencionar cuales son los principales factores analizados en este trabajo, que marcan las grandes diferencias en los patrones de consumo entre los países de la OCDE y México.

a) **Ingreso.** A diferencia de los países industrializados de la OCDE en donde el ingreso medio creció durante todo el período 1973-90, en México, entre 1980 y 1990, el salario medio cayó a una tasa anual promedio de 1.8%. Esta caída del salario real mexicano, provocada por la recesión económica de los años ochenta y las políticas de ajuste estructural, dieron como resultado un empobrecimiento de la población y un acentuamiento de la inequidad en la distribución de la riqueza. La caída del poder adquisitivo de la población tuvo como consecuencia el incremento de la proporción del gasto familiar destinada a la energía.

---

<sup>69</sup>En México, a diferencia de los países de la OCDE, son pocas las encuestas realizadas con el objetivo de estimar el consumo de energía en los hogares. Esta carencia de información, hace difícil el análisis histórico desagregado. En este trabajo se utilizan, entre otros, los trabajos de Masera et al (1991), Willars y Heredia (1990), SEMIP (1986), Campero (1991), Friedmann (1993), Dutt (1989) y se amplían con base en datos adicionales de la CFE, los Censos de Población y Vivienda y las ventas de aparatos domésticos.

**b) Asimetría entre el sector urbano y el rural.** El importante crecimiento de la población urbana en México, fue acompañado por una profunda asimetría en la penetración de los servicios. Mientras que en 1970, el 81% de las viviendas urbanas contaban con luz eléctrica, solamente el 30% de las rurales tenía acceso a este servicio. Después de 20 años, la electrificación llegó al 97% de las viviendas urbanas y solamente al 60% de las rurales.

**c) Electrificación.** La existencia de viviendas sin electricidad es una gran diferencia entre México y los países de la OCDE. Desde 1960, el 100% de las viviendas de los nueve países industrializados analizados en este estudio, tenían acceso a la electricidad y solamente el 6% de las viviendas de Europa occidental no contaban con agua caliente en 1970<sup>70</sup>. Esto indica que en México el potencial de crecimiento del uso de la energía por hogar es mucho mayor.

**d) Saturación de los electrodomésticos.** Al igual que en los países industrializados de la OCDE, en México este factor ha sido determinante en el aumento del uso de la energía. Sin embargo, en el primer grupo de países existe una saturación de cerca del 100% para la mayoría de los aparatos más intensivos en el uso de la energía, como son el refrigerador, la lavadora y secadora de ropa. En el caso de México, la saturación de estos aparatos está lejos de llegar a ser del 100%.

**e) Precio de la energía residencial en México.** Una diferencia importante esta en la diferencia de los precios de la energía. Mientras que en los países industrializados de la OCDE la discusión del aumento o no en el precio de los hidrocarburos y la electricidad se basa en la introducción de un costo asociado a las externalidades, que en este caso son los efectos ambientales asociados al uso de la energía, en México y en otros países del Tercer Mundo, la discusión está centrada en la disminución o desaparición de los subsidios estatales al precio de la energía. Esto es de suma importancia, particularmente en la utilización del precio de la energía como elemento de política energética.

La Tabla 9.3 muestra la energía total y la intensidad energética para los diferentes usos finales en México, dividido en rural, urbano y total. La cocción de alimentos representó en 1980 el 65% del consumo residencial, mientras que para 1990, este se había

---

<sup>70</sup>En el caso del Japón, el 100% de las viviendas contaban con agua corriente en 1970, pero tan sólo el 70% tenía baño. Este porcentaje ya había aumentado a 91% en 1988. Nakagami (1990) sugiere que este elemento fue fundamental en el aumento del uso de energía para agua caliente en el Japón.

reducido a 57%. Esta importante disminución se debió a la sustitución de gas LP por leña y al incremento en el uso de la energía para calentamiento de agua, iluminación y electrodomésticos

En el campo mexicano la leña representa el energético más importante para la cocción de alimentos. De acuerdo con los Censos de 1980 y 1990 alrededor del 73% de las viviendas utilizaban la leña como energético principal para este uso. Sin embargo, diversos estudios reportan que incluso cuando una familia rural adquiere una estufa de gas LP sigue utilizando la leña para la cocción de tortillas y nixtamal. La cocción con leña en la mayor parte del subsector rural mexicano se realiza a través de la llamada estufa tres piedras, cuya eficiencia<sup>71</sup> es del 17%.

El subsector urbano tiene características muy distintas al rural. En 1990 tan sólo el 5% de las viviendas utilizaba leña para la cocción, cerca del 85% lo hacían con gas LP, alrededor del 5% con ambos combustibles y el resto con gas natural y petróleo diáfano. Aquellas familias urbanas que utilizan la leña como energético para la cocción se concentran principalmente en las zonas marginadas de las ciudades y en las pequeñas ciudades de entre 2500 y 10000 habitantes<sup>72</sup>.

El calentamiento de agua es el uso final más importante después de la cocción. Su contribución al consumo final de energía pasó de 20% a 27% entre 1980 y 1990. Este incremento se produjo principalmente en el subsector urbano, donde el aumento en la saturación de los calentadores de gas hizo que la participación de este uso creciera de 25% al 34%.

La iluminación representa un porcentaje del 4% en el uso de la energía residencial mexicana, pero un 37% del uso de la electricidad. Todavía en 1990 el 40% de las viviendas del subsector rural y 3% del urbano seguían utilizando petróleo diáfano, leña y en algunos casos gas LP para cubrir sus necesidades de iluminación. El uso de la electricidad para electrodomésticos ha sido el de mayor crecimiento en el uso de la energía residencial mexicana.

---

<sup>71</sup>Medida con la prueba de ebullición de agua (Bathia 1987)

<sup>72</sup>El límite arbitrario de 2500 habitantes para considerar una comunidad urbana o rural tiene problemas en aquellas comunidades cuya población es ligeramente mayor a los 2500 habitantes pero sus características económicas y culturales siguen siendo las de una comunidad rural.

**Tabla 9.3**  
**Estimación del uso de la Energía Residencial en México**  
**1980 y 1990**

	<b>RURAL</b> <b>1980</b>	<b>RURAL</b> <b>1990</b>	<b>URBAN</b> <b>O</b> <b>1980</b>	<b>URBANO</b> <b>1990</b>	<b>TOTAL</b> <b>1980</b>	<b>TOTAL</b> <b>1990</b>
<b>Cocción (PJ)</b>	<b>186.4</b>	<b>200.4</b>	<b>150.2</b>	<b>190.5</b>	<b>344.8</b>	<b>390.8</b>
<b>Viviendas (millones)</b>	<b>3.90</b>	<b>4.10</b>	<b>8.24</b>	<b>11.94</b>	<b>12.14</b>	<b>16.04</b>
<b>Leña (GJ/viv)</b>	<b>51.0</b>	<b>49.4</b>	<b>46.2</b>	<b>38.6</b>	<b>50.0</b>	<b>47.5</b>
<b>Saturación*</b>	<b>75%</b>	<b>72.5%</b>	<b>8.5%</b>	<b>4.8%</b>	<b>23.4%</b>	<b>13.6%</b>
<b>Uso mixto</b>	<b>18.8%</b>	<b>21.0%</b>	<b>3.0%</b>	<b>4.3%</b>	<b>8.1%</b>	<b>8.4%</b>
<b>Petróleo**(GJ/viv)</b>	<b>8.4</b>	<b>7.8</b>	<b>14.1</b>	<b>13.0</b>	<b>11.3</b>	<b>14.3</b>
<b>Saturación:</b>	<b>6.2%</b>	<b>6.5%</b>	<b>79.6%</b>	<b>80.1%</b>	<b>62.5%</b>	<b>71.0%</b>
<b>Gas (GJ/viv)</b>			<b>14.0</b>	<b>13.9</b>	<b>14.0</b>	<b>13.9</b>
<b>Saturación</b>			<b>8.5%</b>	<b>9.4%</b>	<b>6.0%</b>	<b>7.0%</b>
<b>Agua Caliente (PJ)</b>	<b>31.6</b>	<b>35.6</b>	<b>85.5</b>	<b>150.1</b>	<b>117.1</b>	<b>185.7</b>
<b>Leña (GJ/viv)</b>	<b>8.3</b>	<b>8.2</b>	<b>15.4</b>	<b>15.2</b>	<b>8.3</b>	
<b>Saturación (%)</b>	<b>95%</b>	<b>95%</b>	<b>12.5%</b>	<b>4.7%</b>	<b>39%</b>	<b>28%</b>
<b>Petróleo (GJ/viv)</b>	<b>18.4</b>	<b>18.2</b>	<b>11.2</b>	<b>14.2</b>	<b>11.3</b>	<b>14.3</b>
<b>Saturación (%)</b>	<b>2.1%</b>	<b>5.0%</b>	<b>63%</b>	<b>71%</b>	<b>43.5%</b>	<b>55%</b>
<b>Gas (GJ/viv)</b>			<b>20.0</b>	<b>19.8</b>	<b>20.0</b>	<b>19.8</b>
<b>Saturación (%)</b>			<b>7%</b>	<b>9%</b>	<b>5.5%</b>	<b>7%</b>
<b>Iluminación (PJ)</b>	<b>4.8</b>	<b>4.7</b>	<b>18.2</b>	<b>22.9</b>	<b>23.0</b>	<b>27.6</b>
<b>Electricidad (GJ/viv)</b>	<b>0.08</b>	<b>0.08</b>	<b>0.14</b>	<b>0.14</b>	<b>0.13</b>	<b>0.13</b>
<b>Saturación (%)</b>	<b>42%</b>	<b>60%</b>	<b>89%</b>	<b>97%</b>	<b>74%</b>	<b>88%</b>
<b>Leña (GJ/viv)</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>			<b>0.7</b>	<b>0.7</b>
<b>Saturación (%)</b>	<b>7%</b>	<b>7%</b>			<b>2%</b>	<b>1.8%</b>
<b>Petróleo (GJ/viv)</b>	<b>5.6</b>	<b>5.6</b>	<b>4.9</b>	<b>4.9</b>	<b>5.1</b>	<b>5.1</b>
<b>Saturación (%)</b>	<b>12%</b>	<b>8%</b>	<b>11%</b>	<b>3%</b>	<b>11%</b>	<b>4.3%</b>
<b>Electrodom. (PJ)</b>	<b>2.0</b>	<b>3.5</b>	<b>19.1</b>	<b>47.0</b>	<b>21.1</b>	<b>50.5</b>
<b>Saturación refri(%)</b>	<b>12%</b>	<b>26%</b>	<b>52%</b>	<b>76%</b>	<b>39%</b>	<b>63%</b>
<b>Saturación T. V. (%)</b>	<b>25%</b>	<b>40%</b>	<b>68%</b>	<b>90%</b>	<b>54%</b>	<b>77%</b>
<b>Saturación lavadora (%)</b>	<b>~ 1%</b>	<b>3%</b>	<b>34%</b>	<b>65%</b>	<b>23%</b>	<b>49%</b>
<b>Saturación Aire Ac. (%)</b>			<b>4%</b>	<b>8%</b>	<b>2.7%</b>	<b>4%</b>
<b>Otros*** (PJ)</b>					<b>23.0</b>	<b>29.0</b>
<b>Leña</b>					<b>8.2</b>	<b>22.0</b>
<b>Gas LP</b>					<b>14.8</b>	<b>7.0</b>

\* Incluye aquellas viviendas que utilizan leña solamente para el consumo de tortillas y gas para la cocción de otros alimentos. Uso mixto se refiere al uso de gas LP y de leña en la misma vivienda. En el caso urbano el uso mixto se calcula como el 5% de las viviendas que usan gas LP. Este porcentaje se mantiene constante para 1980 y 1990.

La disminución de los consumos unitarios en el caso del petróleo utilizado para cocción se debe al aumento del uso de gas LP sobre el petróleo diáfano.

\*\* Incluye petróleo diáfano y gas LP. La disminución en la saturación se debe a la caída del uso del petróleo diáfano. Es importante recalcar que el aumento se da principalmente en el uso mixto, es decir las familias no abandonan el uso de la leña, a pesar de tener acceso al gas LP.

\*\*\* Residuo entre balance de energía (SEMIP) y cálculos propios (incluye calefacción). Las diferencias en los consumos unitarios (GJ/viv) se deben principalmente a la sustitución de un combustible por otro (gas LP por petróleo diáfano, o uso exclusivo de leña por uso combinado leña-gas LP) o a la sustitución de tecnología (calentamiento de agua directo en estufa de gas LP por calentador de gas LP) y a la disminución en el tamaño de los hogares.

A diferencia de la OCDE, donde la mayoría de los países presentó disminución en las emisiones per cápita, en México sucedió justamente lo contrario. Aumentaron las emisiones per cápita de CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> provenientes del uso de los energéticos comerciales en el sector residencial para 1980 y 1990. Las razones más importantes de esta diferencia son los cambios estructurales (i.e. saturación de electrodomésticos y electrificación) y, en menor medida, la participación del carbón en la generación de electricidad.

En todos los casos el índice de emisión de la electricidad (que toma en cuenta las fuentes primarias de generación de la misma) fue mayor en 1990 que en 1973.. Esto se debió a la introducción del uso del carbón como sustituto del combustóleo en la generación de electricidad. En 1980, 77.5% de las fuentes primarias de generación de la electricidad provenían del petróleo y 22.5% del gas Natural. Para 1990 este porcentaje se redujo a 73 y 15%, respectivamente. Para ese mismo año, un 8% de la electricidad generada provenía del carbón. Este efecto, aunado al aumento del uso de la electricidad para iluminación y electrodomésticos, provocó un crecimiento significativo en la emisión de todos los contaminantes (Tabla 9.4).

**Tabla 9.4**  
**Emisión de NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> per cápita debidas al uso de energía comercial\* residencial en México**

	1980	1990
<b>NO<sub>x</sub> (g/GJ)</b>	<b>86.3</b>	<b>120.9</b>
<b>CO (g/GJ)</b>	<b>65.8</b>	<b>95.7</b>
<b>SO<sub>2</sub> (g/GJ)</b>	<b>25.2</b>	<b>38.8</b>
<b>CO<sub>2</sub>(Kg de C/ GJ)</b>	<b>164.8</b>	<b>216.1</b>

\*Energía comercial no incluye leña

En el análisis de los índices de cambio se encuentra que el elemento más importante que presionó para la disminución del consumo energético en el sector residencial mexicano fue la sustitución de leña por gas LP, debido a que las estufas de gas tienen eficiencias más altas que las de las tres piedras. Por otro lado, los elementos que presionaron para el aumento del uso de la energía fueron el incremento en el número de viviendas y el aumento en la saturación de los electrodomésticos. La tabla 9.5 muestra el valor hipotético de estos cambios.

**Tabla 9.5**  
**Cambios poblacionales y estructurales**  
**En el uso de la energía final residencial en México**

<b>TIPO DE CAMBIOS</b>	<b>% total de cambio (1980-1990)</b>
<b>Consumo de energía final(total)</b>	<b>29%</b>
<b>Población</b>	<b>57%</b>
<b>Viviendas</b>	<b>70%</b>
<b>Saturación electrodomésticos</b>	<b>140%</b>
<b>Importancia de la leña</b>	<b>-38%</b>

En general puede decirse que en los países de la OCDE, las intensidades energéticas, principalmente en calefacción (energía por unidad de área y día grado) tuvieron una importante disminución entre 1973 y 1990, debido principalmente a la introducción de tecnología más eficiente y a la sustitución de petróleo por electricidad. En México, la intensidad energética para el principal uso final, cocción (uso de energía por vivienda) también disminuyó. La diferencia mayor, sin embargo, radica en que en el primer caso, la sustitución de fuentes de energía final se debió a una política deliberada de los gobiernos que penalizaba el uso del petróleo y promovía la eficiencia. En el segundo, la sustitución de combustibles se debió a un fenómeno ajeno a las políticas energéticas: la migración campo-ciudad.

A futuro se puede estimar que los elementos que seguirán presionando para el aumento en el consumo de la energía en el sector residencial mexicano serán: (a) el incremento en la saturación de los electrodomésticos. En este sentido es importante hacer notar que a pesar de la disminución del ingreso medio y mínimo, el aumento en la saturación de electrodomésticos en la década de los ochenta fue de suma importancia; (b) la electrificación; (c) el incremento en el número de viviendas con agua corriente y por lo tanto con posibilidad de agua caliente; (d) la introducción de nuevos electrodomésticos (hornos de microondas, procesadores de alimentos, etc.) y (e) mayor migración hacia las ciudades que disminuirá probablemente el uso de la leña pero presionará hacia el aumento del uso del gas LP. A continuación se detalla el potencial de ahorro y las políticas de conservación de energía que deberían ser implementadas hacia el sector residencial mexicano, a la luz de la experiencia de los países de la OCDE analizados en este estudio.

### 9.3 Potencial técnico de ahorro de energía en el sector residencial.

La Tabla 9.5 muestra cual es el ahorro que se puede obtener utilizando tecnologías más eficientes que se encuentran en uso en la actualidad en los países de la OCDE, tomando como base las tecnologías promedio para México, para los usos finales más importantes.

**Tabla 9.6**  
**Ahorro de energía para las principales tecnologías**

	Tecnología actual	Tecnología eficiente	Ahorro Respecto a la actual
<b>Cocción con gas</b>	Estufa de cuatro quemadores con pilotos	Pilotos electrónicos, mejoras en el diseño	20%
<b>Cocción con leña</b>	Tres piedras	Sustitución a gas LP Estufas mejoradas	22.0%* 25%**
<b>Calentamiento de agua</b>	Calentador con termostato y piloto automático	Aislamiento y encendido electrónico Calentador de paso	10 a 20% 30 a 40%
<b>Iluminación</b>	Foco incandescente	Foco Compacto Fluorescente	60 a 75%
<b>Refrigeración</b>	Consumo promedio de 700 kwh al año, una puerta, sin descongelado automático	Aislamiento y mejoras en el compresor  Mejor tecnología disponible (100 kwh al año)	50%  70 a 80%
<b>Aire acondicionado</b>	Por cuarto	Efficientiza el proceso de enfriamiento	20%

\* Tomando en cuenta que se cocinan tortillas con leña

\*\*El ahorro es principalmente en la cocción de tortillas (50% del consumo)

### 9.4 Políticas energéticas y barreras para la conservación y eficiencia en el sector residencial mexicano

En general se pueden reconocer siete medidas de eficiencia y conservación de la energía para el sector residencial: (a) Programas de información, (b) Estándares de regulación y eficiencia energética, (c) Administración de la Demanda (Demand Side Management (DSM)), (d) Precios y políticas fiscales y (e) Otros incentivos económicos, (f) Investigación y desarrollo (g) la sustitución de combustibles y la difusión de estufas mejoradas, (h) Políticas no energéticas.

Es difícil jerarquizar la importancia de cada una de estas políticas o medidas. Cada una de ellas ha tenido su influencia dependiendo del país y de la época en que fueron instituidas. A continuación se describe la importancia de cada una de ellas en el contexto de México.

#### **9.4.1 Sustitución de leña por gas LP en el campo mexicano y estufas mejoradas.**

Existen dos formas de promover la eficiencia para este uso. La primera es la sustitución de combustible y la segunda son las estufas mejoradas de leña. Estas alternativas no son excluyentes debido a que un importante número de familias rurales que han adquirido estufas de gas, siguen utilizando leña para la cocción de tortillas.

#### **9.4.2 Programas de Información**

Los programas de información consisten de tres elementos principales: campañas de información, etiquetas y encuestas y entrevistas periódicas. En relación a las campañas de información, es difícil certificar su éxito. En algunos países como Alemania éstas fueron de gran ayuda para la promoción de la conservación de energía, pero existe el caso de países como Brasil en donde se ha demostrado que el costo de dichas campañas fue innecesario. En general y de acuerdo con la experiencia de otras naciones, puede concluirse hacia México, que las campañas de información deberán tener objetivos muy claros y deberán estar asociadas a otros programas para que sean exitosas.

Las campañas de etiquetas que consisten en información del costo energético de cada aparato como orientación al consumidor, han sido de gran éxito en países tan diversos como los Estados Unidos, Alemania y Brasil. Un programa semejante ha sido instaurado en México para refrigeradores. Un seguimiento de este programa es indispensable.

Como se ha mencionado a lo largo de este trabajo, la realización de encuestas y entrevistas periódicas por usos finales es necesaria si se pretende promover la eficiencia energética. Es imprescindible una base de datos nacional que registre periódicamente el

uso de la energía residencial por usos finales. Su elaboración, aplicación y análisis requeriría de pocos recursos económicos adicionales, si es desarrollada a través de la cooperación de instituciones gubernamentales y educativas existentes.

### **9.4.3 Estándares de Regulación y Eficiencia**

Los estándares para electrodomésticos consisten de reglamentos que obligan a los productores a cumplir una mínima norma de eficiencia energética. En Estados Unidos, por ejemplo, la diferencia en el consumo de energía entre un refrigerador promedio en 1990 y el estándar de eficiencia para el mismo año era de cerca del 30% (U.S. DOE 1993). El ahorro total depende evidentemente de la tasa de renovación de estos electrodomésticos, pero se estima que en 12 años, cerca del 90% de los refrigeradores serán sustituidos. Es importante mencionar, sin embargo, que un programa de estándares podría traer como consecuencia el aumento en los precios de los electrodomésticos. Esto limitaría aun más la compra de aparatos eficientes para las familias de bajos ingresos, obligándolas a adquirir aparatos usados que consumen más electricidad. Para evitar que los estándares se conviertan en una política que beneficie solamente a los de mayores recursos económicos, se requerirían programas de administración de la demanda, que faciliten la adquisición de electrodomésticos eficientes para las familias de bajos recursos.

### **9.4.4 Nuevas construcciones**

Una de las políticas energéticas que más éxito han tenido en los países de la OCDE han sido las regulaciones en el aislamiento de las nuevas construcciones. La mayor parte del ahorro en calefacción entre 1973 y 1990 se debió a esta política (IEA 1990). En el caso de México, algo que podría tener éxito a largo plazo, sería garantizar que las nuevas construcciones de casa habitación, tuvieran electrodomésticos eficientes, calentadores de agua mixtos (solares y de gas LP) y fueran construidas tomando en cuenta el uso de la energía solar pasiva.

#### **9.4.5 Administración de la demanda**

Una de las principales vías para lograr aumento en la eficiencia de los usos finales es la sustitución de tecnología convencional por eficiente. La participación de las compañías generadoras en la promoción de los dispositivos eficientes entre sus usuarios, es una de las formas más comunes de administración de la demanda.

Esta es una política energética que ha sido desarrollada con éxito principalmente por diversas compañías eléctricas de los Estados Unidos y Canadá. En este último país por ejemplo, la British Columbia Hydro, una de las compañías eléctricas, tiene planeado gastar cerca de 330 millones de dólares canadienses en los próximos veinte años para impulsar políticas en el sector residencial, comercial e industrial, tales como auditorías energéticas, sistemas de control de manejo de la demanda, financiamiento en el aislamiento de edificios y promoción de la eficiencia en refrigeradores e iluminación. Esta compañía espera ahorrar en las siguientes dos décadas cerca de 52.5 TWh (IEA 1991).

En México, la Comisión Federal de Electricidad<sup>73</sup> ha comenzado a desarrollar algunos proyectos piloto. El principal proyecto es conocido como ILUMEX (Sathaye et al. 1994) y consiste en la promoción de lámparas compactas fluorescentes en las ciudades de Monterrey y Guadalajara.

Es importante tomar en cuenta que para promover la eficiencia energética en todos los estratos sociales, las políticas de administración de la demanda deben tomar en cuenta la diferenciación social de los usuarios. La rentabilidad de una sustitución tecnológica depende críticamente del precio de la energía, la inversión en las tecnologías, la vida y el consumo de energía de ambos dispositivos y de la tasa de descuento. Desde el punto de vista del usuario, la decisión de realizar una sustitución tecnológica depende principalmente de la viabilidad que tenga para realizar la inversión inicial y del tiempo en el que la recuperará. Evidentemente, mientras menor sea la capacidad de compra del usuario, menor posibilidad de realizar la sustitución tecnológica.

Las mejoras en la eficiencia pueden estar al alcance de la gente de menos ingresos económicos si se diseñan políticas orientadas a ello. Un ejemplo de éstas es convirtiendo el pago inicial de la tecnología eficiente en varios pagos que coincidan en el tiempo con los ahorros (Reddy 1992).

---

<sup>73</sup>Este es otro proyecto conjunto entre CFE y USAID

#### **9.4.6 Investigación y desarrollo**

En México existe poca relación entre investigación y desarrollo tecnológico para el sector doméstico. Como se ha mencionado a lo largo de este trabajo, existen características específicas del uso de la energía residencial en México, que se alejan de la realidad de los países industrializados. El desarrollo de políticas de conservación y eficiencia deben tomar en cuenta esta situación. En esta perspectiva, una mayor relación entre las instituciones de investigación, las compañías eléctricas y de gas LP mexicanas, las compañías productoras de aparatos domésticos y las agencias y consultoras nacionales e internacionales es necesaria para promover tanto tecnología más eficiente como políticas de conservación para el sector residencial mexicano.

#### **9.4.7 Precios y políticas fiscales**

El aumento en los precios de la energía es una de las principales políticas de conservación energética. Mientras que en los países desarrollados la discusión acerca del aumento en el precio de la energía se ha centrado en la adición de impuestos que reflejen el costo ambiental de la producción y uso de la misma, en los países del Tercer Mundo la polémica se circunscribe al mantenimiento o eliminación de los subsidios estatales.

En México, los subsidios a la energía siguen representando la posibilidad de acceso de muchos usuarios al servicio energético. Sin embargo, en la forma en la que están diseñadas las tarifas, principalmente de la electricidad, se está subsidiando en gran medida a aquellos usuarios que más consumen. En 1991 solamente el 10% de los usuarios utilizaba más de 200 kWh al mes.

Esta situación indica que la redefinición de las tarifas eléctricas y del precio del gas LP no es un problema sencillo de resolver. Sin embargo, en una lógica de promoción de la eficiencia energética con equidad social (Newbery 1984), tres lineamientos parecen ser claros en la definición de las políticas de precios de la energía residencial en México: (1) Debe garantizarse el servicio energético a la población de escasos recursos económicos. (2) Las modificaciones en el precio de la energía deben ir acompañadas de programas de manejo de la demanda que permitan a la población, en particular la de escasos recursos, acceder a tecnología más eficiente a través de facilidades de compra e igualando el ahorro de energía al abono del pago de la nueva tecnología (Reddy 1990, Masera et al. 1991, Dutt 1993) y (3) Es necesaria una redefinición de las tarifas eléctricas residenciales, donde

se tienda a disminuir el subsidio a aquellos que no lo necesitan, como por ejemplo los usuarios de tarifa 1, que consumen más de 200 kWh al mes.

La creciente polarización en la distribución de la riqueza está generando un uso ineficiente de la energía, tanto de los estratos de altos como en los de bajos ingresos. En el caso de los sectores de altos ingresos, la energía es solamente una fracción de su gasto mensual y por lo tanto la conservación no es una preocupación. En los sectores más empobrecidos, la falta de recursos y créditos de bajo interés; les hace inaccesible la compra de aparatos eficientes o la sustitución de combustibles.

La injusta distribución de la riqueza en nuestro país se hace cada vez más profunda. Las políticas de conservación de energía no deben ser un elemento adicional en esa diferenciación, por el contrario deben tender hacia la generación de un mayor bienestar de toda la población. La eficiencia energética no tiene por que oponerse a un desarrollo social más justo.

## Referencias bibliográficas

**Agence Francaise pour la Matrisse d'Energie.** 1988. 1990. *Statistiques Energetiques*. Paris.

**Aguado, E.** 1993. "Sello FIDE". En *Memorias del XIV Seminario Nacional Sobre el Uso Racional de la Energía y Exposición de Equipos y Servicios*. Noviembre 1993. ATPAE. México D.F.

**Alliance to Save Energy-Natural Resources Defense Council, Union of Concerned scientists.** 1991. *America's Energy Choices: Investing in a Strong Economy and a Clean Environment*. ACEEE. Cambridge, MA.

**Alonso, A. & L. Rodríguez.** 1985. *Alternativas Energéticas*. Fondo de Cultura Económica. México D.F.

**Alva, E., M. Cervantes & M. Muñoz.** 1991. "Sistemas solares en unidades habitacionales de INFONAVIT". En Quintanilla J. (ed.) *Primera reunión internacional sobre energía y medio ambiente en el sector residencial mexicano*. Diciembre 1991. Universidad Nacional Autónoma de México-University of California. México D.F.

**Ambriz, J.J. & H. Romero.** 1991. "Energía y Medio Ambiente en el Medio Residencial Mexicano-Ahorro de Energía: Retos y Oportunidades". En Quintanilla J. (ed.) *Primera reunión internacional sobre energía y medio ambiente en el sector residencial mexicano*. Diciembre 1991. Universidad Nacional Autónoma de México-University of California. México D.F.

**American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE).** 1991. *The golden carrot news*. Washington D.C.

**Anderson, B.R., A.J. Clark, R. Baldwin & N.O. Milbank.** 1985. *BRE Domestic Energy Model: Background, philosophy, description*. Building Research Establishment report BR66. London.

**Angioletti, R.** 1992. "French family housing sector: energy, behaviours and markets". In *ACEEE 7th Biennial Conference on Energy Efficiency in Buildings*, Pacific Grove, CA, Aug 30-Sep 5 1992, V4:1-11.

**Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 1970, 1980, 1990.** *Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen*. Germany.

**Asociación Nacional de Fabricantes de Aparatos Domésticos (ANFAD).** 1992. *Memoria estadística de la Industria de Aparatos Domésticos*. México D. F.

**Baade, P.** 1980. *International energy prices*. The energy information administration. U.S. Department of Energy Report. April 1980.

**Baldwin, S.** 1986. *Biomass stoves: Engineering design, development, dissemination*. Princeton University center for Energy and Environmental Studies, Princeton University and Volunteers in Technical Assistance, Arlington VA.

**Banco de México.** 1981, 1989. *Informe anual*. México D.F.

**Banco de México.** 1988. *Sistema de cuentas nacionales*. México D.F.

**Berry, L.** 1989. *The administrative costs of energy conservation programs*. Oak Ridge National Laboratory report. ORNL/CON-297. November.

**Bhagwati, J.** 1993. "The case for Free Trade". *Scientific American*. V269 No.5: 42-49

**Bhatia, R.** 1980. "Energy survey methodologies: A framework for measuring nonconventional energy sources in developing countries". *Workshop on Energy Statistics ESCAP. IIE*. Karachi Oct. 1980.

**Bhatia, R.** 1984. "Energy pricing in developing countries: Role of prices in investment allocation and consumer choices". In Morales, S. (eds.) *Criteria for Energy Pricing Policy*. Graham & Trotman. London.

**Blanc, A., J. Sada & A. Valera.** 1991. "Proyecto piloto de sustitución de focos por lámparas fluorescentes compactas en servicios domésticos". En Quintanilla J. (ed.) *Primera reunión internacional sobre energía y medio ambiente en el sector residencial mexicano*. Diciembre 1991. Universidad Nacional Autónoma de México-University of California. México D.F.

**Boyd, G., J.F. McDonald, M. Ross & D.A. Hanson.** 1987. "Separating the changing composition of U.S. manufacturing production for energy efficiency improvements: A Divisa Index approach". *Energy Journal* V8: 77-96.

**Campero, E.** 1991. "Impacto de los refrigeradores domésticos en el consumo de energía del sector residencial". En Quintanilla J. (ed.) *Primera reunión internacional sobre energía y medio ambiente en el sector residencial mexicano*. Universidad Nacional Autónoma de México-University of California. México D.F. Nov. 1991.

**Casells, M.** 1994. *Technopoles of The World.*, Routledge, London UK.

**Castells, M. & R. Laserna.** 1989. "The New Dependency: Technological Change and Socioeconomic Restructuring in Latin America". *Sociological Forum*, V4 No.4.

**Cervantes, J., M. Martínez, O. Maserá, J.M. Méndez.** 1984. "Uso eficiente de la energía en México: Sector rural". Reporte entregado al Colegio de México. Inédito.

**Chern, W.S., A. Ketoff, L. Schipper & J.S. Rosse.** 1983. *Residential demand for energy: A time series and cross sectional analysis for eight OECD countries*. Lawrence Berkeley Laboratory Report LBL-14251. Berkeley CA.

**Chern, W.S.** 1978. *Econometric studies in energy demand and supply*. Praeger NY.

**Comisión Federal de Electricidad (CFE).** 1980, 1985, 1990, 1991. *Estadísticas Financieras del Sector Eléctrico 1978-1989*. CFE-Sudirección de Programación. México DF.

**Comisión Federal de Electricidad (CFE).** 1990. *Precios internos y externos de referencia de los principales energéticos. Periodo 1971-1990.* 5a. Edición. CFE-Sudirección de Programación-Gerencia de estudios económicos. México DF.

**Comisión Federal de Electricidad (CFE).** 1992. *Aplicando factores de Emision para algunas Centrales.Termoeléctricas. de CFE.* Subdirección Técnica, Gerencia de Ingenieria Civil. Subgerencia de proteccion ambiental. Departamento de Ingenieria Ambiental, Marzo 1992

**Comisión Federal de Electricidad (CFE).** 1983, 1990, 1991. Informes internos: ábacos de consumo de energía residencial, mimeos. México D.F.

**Cruzado A.** 1994. *Factores de emisión.* Mimeo. SAMPLING S.A. México D.F.

**Daly, H.E.** 1993. "The perils of Free Trade". *Scientific American.* V 269, No.5:50-57

**Danish Energy Agency (DEA).** 1993. *Energy 2000: Folow up. Assuptions and Analysis.* Ministry of Energy. November 1993. Copenhagen.

**Danske Elvrkers Forening Udredningsisntitute (Asociation of Danish Electric Utilities).**, 1992. *Elforsyningens Tiaroversight 1981-1991.* Dinamarca.

**De Buen, O.** 1993. *Residential air conditioning in Northern Mexico: Impacts and alternatives.* Master's Thesis. Energy and Resources, University of California, Berkeley.

**Donatos, S. & G.J. Mergos.** 1991. "Residential demand electricity: The case of Grece". *Energy Economics.* V13, No. 1: 41-48, January 1991.

**Donnelli, W.** 1987. *The economics of energy demand: A survey of applications.* Praeger NY.

**Dutt, G.** 1993. *Energy End Use: An Environmenatly Sound Developmnt Pathway.* Asian Development Bank. Manila, Philippines.

**Dutt, G., J. Navia J & C. Sheinbaum.**, 1989. "Tecnología Apropiada para Cocinar con Leña". *Ciencias* No.15:43-47., Depto. de Física, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.

**Ebel, W.** 1990. *Energiesparpotentiale im Gebäudebestand.* Darmstand, Germany. Instuit für Wohnen und Umwelt.

**Ebergistatistik foer Smohus.** 1980. 1990. *Energistatistik for Flerostadushus".* Sweden.

**Electricite de France.** 1990. *Statistiques de Electricite de France.* Paris.

**Ester, P.,** 1985. *Consumer behavior and energy conservation.*, Martinus Nijhoff Publishers. Netherlands.

**Evans, M.** 1984. "Aspectos socioeconómicos de la carencia de combustibles domésticos: Un estudio empírico del México rural". *Cuadernos sobre Prospectiva Energética* No. 55. El Colegio de México. México D.F.

**Fernandez, L.** 1991. "Usos Finales de la Energía en la Ciudad de México". En Quintanilla J. (ed.) *Primera reunión internacional sobre energía y medio ambiente en el sector residencial mexicano.* Universidad Nacional Autónoma de México-University of California. México D.F.

**Figueroa M.J., A. Ketoff & O.R. Masera.** 1992. *Residential energy use and conservation in Venezuela: Results and implications of a household survey in Caracas.* Lawrence Berkeley Laboratory report. LBL-30508. Berkeley CA.

**Flavin, C.** 1992. "Building a bridge to sustainable energy". En Brown L (ed). *State of the World 1992: A Worldwatch Institute Report on progress towards a sustainable society.* W.W. Norton & Company. New York.

**Fondo Monetario Internacional (FMI).** 1975, 1980, 1990, 1992. *National Accounts.*

**Frantz, S.** 1993. "The race to make the fridge of the future". *Home Energy.* V10. No1:36-37.

**Freund, R. & R. Littell.,** 1991. *SAS System for Regression.* Second Edition. SAS Institute Inc. Cary, NC.

**Friedmann, R.** 1993. "Mexico's residential sector: Main electric end uses and savings potential". In *Proceedings of the 1993 ECEEE Summer Study: The Energy Efficient Challenge for Europe.* R. Ling and H. Wilhite (eds.). The European Council for an Energy Efficient Economy, Oslo, Norway.

**Gadgil, A. & J. Januzzi.** 1989. *Conservation Potential of Compact Fluorescent Lamps in India and Brazil.* Lawrence Berkeley Laboratory Report. LBL-27210, University of California, Berkeley. USA.

**Gelineau, J.M.** 1990. "L'induction en cuisson domestique". *Revue de l'énergie.* 41e année. No 424: 489-491.

**Geller, H.** 1991. *Efficiency Electricity Use: A Development Strategy for Brazil.* ACEEE, Washington D.C.

**Geller, H.** 1989. *Promoting Electricity Conservation in developing Countries.* ACEEE. Washington D.C.

**Geller, H., J. Goldemberg, J. Moreira, R. Hukai, C. Scarpinella, & M. Ysonizawa.** 1988. "Electricity Conservation in Brazil: Potential and Progress". *Energy,* V13, No.6: 469-483.

**Gjelstrup, G., A. Larsen, L. Nielsen., k. Osksbjerg & M. Togeby.** 1989. *Elsberpærelser i Danmark.* AKF Forlaget. Copenhagen.

**Goldember J., T. Johansson., A.K.N. Reddy, and R. Williams.,** 1987a. *Energy for Development.* World Resources Institute. NY.

**Goldember J., T. Johansson., A.K.N. Reddy, and R. Williams.** 1987b. *Energy for a sustainable world.* World Resources Institute. NY.

**Goldman, C., E. Hirst & F. Krause.** 1989. *Least Cost Planning in Utility Sector: Progress and Challenges.* Lawrence Berkeley Laboratory report. LBL-27130, Oak Ridge National Laboratory/CON-284. Oak Ridge TN.

**Goldman, N.** 1992. *Residential fuel use: Cooking, water heating and space heating.* Mimeo. Lawrence Berkeley Laboratory.

**Grubb, M.J.** 1990. "Energy efficiency and economic fallacies". *Energy Policy*. V18. No.8.:783-785.

**Gutmanis, I.** 1993. *Analysis of Energy Conservation Activities in Selected OECD Countries (France, Germany, Netherlands and the United Kingdom)*. Report for the National Renewable Energy Laboratory by Hobe Corporation. Washington D.C. U.S.A.

**Guzmán, E & J. Vela.** 1989. "Maestros 1989: Crisis democracia y más salario". *El cotidiano*, Julio-Agosto 1989. México D:F.

**Hirokikudo.** 1993., Residential Energy Consumption: reviews from the aspect of behaviors in living. *Energy in Japan*. The Institute of Energy Economics ISSN 0919-6080 pp 46-63. Nov. Japan.

**Henderson, G. and Les Shorrock.** 1992., A Reference Scenario for Energy Use and CO<sub>2</sub> Emissions by the Residential Sector in the United Kingdom *ACEEE 7th Biennial Conf on Energy Efficiency in Buildings, Pacific Grove, CA, Aug 30- Sep 5, 92, v9, p9.89(10)*

**Holdren, J.** 1992. The transition of costlier energy. Prologo del libro: Schipper et al. *Energy Efficiency and Human Activity*. Cambridge Univerity Press.

**Hoel, P.G.** 1987. *Elementary statistics*. John Wiley & Sons, Inc. New York.

**Howarth R., y Monahan P.,** 1992. Economics, Ethics, and Climate Change Policy. Lawrence Berkeley Laboratory LBL-33230. Berkeley CA., U.S.A.

**Howarth R., Schipper L. Duerr P., y Storm S.,** 1991. "Manufacturing Energy Use in Eight OECD Countries:Trends throuh 1988; Descomposing the Impacts of Changes in Output, Industry Structure, and Energy Intensity". *Energy Economics*, V19, No.9 : 879-892.

**Howarth R., y L. Schipper.** 1991. Manufacturing Energy Use in Eight OECD Countries: Trends throuh 1988. *Energy Journal*, V. 12, No. 4: 15-20.

**Huacuz J.M.** 1991. "Hacia un esquema sostenible de electrificación rural con fuentes renovables de energía". En Quintanilla J. (ed.) *Primera reunión internacional sobre energía y medio ambiente en el sector residencial mexicano*. Diciembre 1991. Universidad Nacional Autónoma de México-University of California. México D.F.

**Iben, S.** 1992. "Energy Planning in Denmark--Methodology and Process", Danish Energy Agency, Copenhagen; *ACEEE 7th Biennial Conf on Energy Efficiency in Buildings, Pacific Grove, CA, Aug 30-Sep 5, 92, V9:179-189*.

**Informe de Gobierno.** 1990. *Informe de Gobierno de Miguel de la Madrid Hurtado*. Anexos estadísticos. México D.F.

**Informe de Gobierno.** 1993. *Informe de Gobierno de Carlos Salinas de Gortari*. Anexos estadísticos. México D.F.

**Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) .** 1986. Determinación del consumo y necesidades energéticas en México a nivel rural: Balnce energético rural de la macroregión sur. Reporte del IIE No.IIE/10/14/2051/I-02/F. Cuernavaca, Mor.

- Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE).** 1990. *Manual sobre tecnología de bombas de calor.* México D.F.
- Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI).** 1970, 1980 y 1990. *Censo Nacional de Población y Vivienda.*, México D.F.
- International Energy Agency (IEA).** 1990. *Energy Policies of IEA Countries.* Paris, France.
- International Energy Agency (IEA).** 1991. *Energy Efficiency and the Environment.* Paris, France
- International Energy Agency (IEA).** 1970, 1980, 1985, 1992. *Energy Balances of OECD Countries.* OECD Paris.
- International Energy Agency (IEA).** 1970, 1980, 1985, 1992. *Energy Prices and Taxes.* OECD Paris.
- Italgas, Servizio Tecnico.** 1980, 1985. *Risparmio di energia negli impianti per la produzione di acqua calda.* Torino.
- Januzzi, J. y L. Schipper.** 1991. The structure of electricity demand in the Brazilian household sector. *Energy Policy.* V19, No.9:879-892.
- Jiménez, B.** 1991. *Notas de clase: Energía y Medio Ambiente-Maestría en Ingeniería Energética-DEPFI.*
- Jochem, E. & T. Morovik.** 1988. Energy use patterns in common market countries since 1979. *Annual Review of Energy.* V13: 131-157.
- Khazzoom, J.D.** 1990. "Integrating residential conservation measures into utility demand forecast". *Public Utility Fortn.* March 1990. V111. No.7:23.
- Karbo, P., V. Ostergaard, J. Lorentzen & T. Hammar (eds).** 1991. *NORDNORM Workshop on Energy Labelling and Efficiency of Household Appliances, May 6 1991.* Stockholm Sweden.
- Kemp, D.** 1991. *Global environmental issues: A climatological approach.* Routledge. New York.
- Kennedy, P.** 1985. *A guide to econometrics.* MIT Press. Cambridge, MS.
- Kettof, A.** 1984. Facts and prospects of the Italian end use energy structure. In *Global Workshop on end-use energy strategies.*
- Ketoff, A. & Schipper L.,** 1990. Looking beyond the aggregate figures: what really happened to household energy conservation. E. Vine & D. Crawley (eds.). *State of the Art of Energy Efficiency: Future Directions.* Washington D.C. ACEEE.
- Kettof, A. & Maserà O.R.** 1991. "Demanda de energía residencial en América Latina: Análisis comparativo de nueve países". En Quintanilla J. (ed.) *Primera reunión internacional sobre energía y medio ambiente en el sector residencial mexicano.* Diciembre 1991. Universidad Nacional Autónoma de México-University of California. México D.F.

**Krause, F. & J. Etos.** 1987. *Least Cost Utility Planning Handbook for Public Utility Commissioners. Volume 2. The Demand Side: Conceptual and Methodological issues.* Lawrence Berkeley Laboratory. LBL 25472. University of California. Berkeley CA. USA.

**Koomey, J.C.** 1990. *Comparative analysis of monetary estimates of external environmental costs associated with combustion of fossil fuels.* Lawrence Berkeley Laboratory report. LBL-29313. April.

**Koomey, J., C. Atkinson, A. Meier, J. McMahon, S. Boghosian, B. Atkinson, I. Turiel, M. Levine, B. Normand and P. Chan.,** 1991a. *The Potential for Electricity Efficiency Improvements in the U.S. Residential Sector,* LBL- 30477 Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley California USA.

**Koomey, J.C., J. McMahon and C. Wodley.** 1991b. *Improving the thermal integrity of new single-family detached residential buildings: A regional assesment of capital cost and energy savings.* Lawrence Berkeley Laboratory report. LBL-29416. July.

**La Bella S.** 1994. "The rational use of energy: an overview of the Italian perspective in the electric sector". ENEL, Spa. Planning and structure departament. In *Workshop on International comparissions of Energy and Environment.* Lawrence Berkeley Laboratory. March.

**Landa, J.** 1993., *Cooperación Energética entre México y EEUU a través de la agencia USAID México.* En *Memorias del XIV Seminario Nacional Sobre El Uso Racional de la Energía y Exposición de Equipos y Servicios.* ATPAE. México D.F.

**Leach, G.** 1989. *Biomass Ebergy, Welfare and CO2 Problem, Global Warming and Climate Change: Perspective form Developing Countries.* En Proc. Int. Conf. Gupta y Pacauri (Eds).

**Leach, G. y R. Mearns.,** 1988. *Household Energy Handbook: An Interim and Reference Manual,* Technical paper 67, World Bank. Washington D.C. USA.

**Lebot, B.A., A. Zsabo & H. Desprezt.** 1991. *Gisement des Economies d'Energie du Park Europeen des Appareils Electromenagers obtenues pare use Reglamentation de Performances Energetiques.* Report to the European Wconomic Community, Dierctor General for Energy. Sofi Antopolis, France. Agence Francais pour la Matrise de l'Energie.

**Levine M.D., Gadgil, A., Meyers S., Sathaye, J., Stafurick, & J., Wilbanks T.** 1991a. *Energy Efficiency in Developing Nations and Eastern Europe. A Report to the US Working Group on Global Energy Efficiency.*

**Levin, M.D. y S. Meyers.** 1991b. "The Contribution of Energy Efficiency to Sustainable Development in Developing Countries". En *Climate Change and Energy Policy* (Eds) Rosen L. y Glasser R. American Institute of Physics. New York.

**Levin M.D., E. Hirst., J.G. Koomey., J. McMahon y A. Sanstad.** 1994. *Energy efficiency, market failures and government policy.* Lawrence Berkeley Laboratory report LBL-35376. March.

**Lokras S., D. Babu., S.Bhogie., K. Jagasish y R. Kumar.,** 1983. *Development of an Improved Three--Pan Cookstove.* En *Preceedings of the ASTRA Seminar.* Indian Institutute of Science, Bangalore.

**Lovins, A.** 1989. *The state of the Art: Drivepower*. Rockie Montain Institute, Snowmass, CO.

**Lovins, A. & L. Lovins.,** 1991. "Least Cost Climate Stabilization". En Pearman (ed) *Limiting Greenhose Effects: Controlling Carbon Dioxide Emissions*. . Wiley N.Y. USA.

**MacKensie, D.** 1993. Britain's fridges: to hot to handle. *New Scientist*. V139, No. 1889. September: 14-15.

**Madisson, A.** 1992. *The political economy of poverty, equity and growth, Brazil and Mexico*. Oxford University Press. Oxford.

**Marland, G.** 1982. The impact of synthetic fuels on global carbon emissions. En Clark, W. (ed) *State of the art of energy efficiency: Future directions*. ACEEE. Washington D.C.

**Martínez, M., L. Rodríguez. & L.E. Salcedo.** 1991. "Elementos básicos para la prospectiva de la Tecnología Energética". *Memoria XVII Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería*, 409-413.

**Martínez, M.** 1992. "Air Pollulants Due to Energy Supply in Mexico" Por aparecer en *Renewable Energy J.*

**Masera O.,** 1994 *Sustainable Fuelwood Use in Rural Mexico*. Volume 1: Current Patterns of Resource Use. Lawrence Berkeley Laboratory. LBL-34634. Berkeley. CA. U.S.A.

**Masera O., O. De Buen y R. Friedmann.,** 1991. Consumo Residencial de Energía en México: Estructura, Impactos Ambientales, Potencial de Ahorro. En Quintanilla J. (ed.) *Primera reunión internacional sobre energía y medio ambiente en el sector residencial mexicano*. Diciembre 1991. Universidad Nacional Autónoma de México-University of California. México D.F.

**Masera, O., R.A. Almeida, J. cervantes, J.F. Garza, C. Juárez, M.A. Martínez, and C. Sheinbaum.** 1989. *Energy use patterns and social differences: A Mexican village case study*. International Development Research Centre (IDRC). Manuscript Report IDRC-MR 215e. Ottawa.

**McMahon, J.** 1991. "Appliance labeling in the USA". *Consumer Policy Review*. VI, April 1991: 87-92.

**Meier A.K. & J. Whitter.** 1983. "Consumer discount rates implied by purchases of energy efficient refrigerators". *Energy*. V8. No.12: 957.

**Meier A. K.** 1992., Emerging miscellaneous uses of electricity in homes. In *ACEEE 7th Biennial Conf on Energy Efficiency in Buildings*, Pacific Grove, CA, Aug 30-Sep 5, 92, V4:141(3).

**Mendoza, Y. y P. Macías.** 1991. Oferta de Combustibles Domésticos y Política de Precios en México. En Quintanilla J. (ed.) *Primera reunión internacional sobre energía y medio ambiente en el sector residencial mexicano*. Diciembre 1991. Universidad Nacional Autónoma de México-University of California. México D.F.

**Mendoza, Y., O. Masera y P. Macías.** 1991. Long term energy scenarios for Mexico. *Energy Policy*. V19, No.10: 961-969.

**Meyers S.**, 1987. Energy Consumption and Structure of the US Residential Sector: Changes between 1970 and 1985. *Annual Review of Energy*, V12: 81-97.

**Mills, E.** 1991a. Evaluation of European lighting programmes: Utility finance energy efficiencies. *Energy Policy*. V19, No. 3: 266-278.

**Mills, E., D. Wilson, and T.B. Johansson.** 1991b. Getting Started: No regrets strategies for reducing green house gas emissions. *Energy Policy* V19, No.4:260-269.

**Morales, L.** 1991. "Acondicionamiento de viviendas en zona cálida seca: Caso Mexicali-Baja California. En Quinatnilla J. (ed.) *Primera reunión internacional sobre energía y medio ambiente en el sector residencial mexicano*. Diciembre 1991. Universidad Nacional Autónoma de México-University of California. México D.F.

**Monteforte R.** 1992. Organization of the electric power sector in Mexico. *Utilities Policy*. V20:149:157.

**Munasinghe M.** 1984. "Energy pricing policy framework and experience in developing countries". In Morales, S. (ed). *Criteria for energy pricing policy*. Graham and Trotman. London.

**Nadel, S., B. A. Atkinson & J. McMahon.** 1991. A review of U.S. and Canadian lighting programmes for residential, commercial and industrial sectors. En *Proceedings of the 1st European Conference on Energy Efficient Lighting*. Stockholm. Sweden. May 28-20. 1991.

**Nadel, S.** 1992. Utility demand side management experience and potential: A critical review. *Annual Review of Energy and Environment*. No17: 507-535.

**NAFINSA.** 1978, 1985, 1991. *La economía mexicana en cifras*. México D.F.

**Nakagami.** 1990. Residential energy use in Japan. Mimeo. International energy group. Lawrence Berkeley Laboratory.

**Navia J.**, 1991., Estufas Mejoradas: Programa de Difusión en Cheranatzicurín. En Primera Reunión Internacinal sobre Ebergía y Medio Ambiente en el Sector Residencial Mexicano (ed) Quinatnilla J., Mexico D,F.

**Newbery D.** 1984. "Efficiency and equity criteria in energy pricing with practical application to LDCs in Asia". In Morales, S. (ed). *Criteria for energy pricing policy*. Graham and Trotman. London.

**Newfarmer, R.S.** 1980. *Transnational Conglomerates and the economics of dependent development*. Greenwich Conn. Wisconsin. MS.

**Nordhaus, W.D.** 1991. "To slow or not to slow: The economics of green hose gas effect". *Economic Journal*. No.101:920-937.

**NUTEK (Narings och teknikutvecklingsvetket).** 1993a. Utvardering av Programmet for effektivareenergianvandning . Stockholm Sweden. NUTEK August 1993.

**NUTEK (Närings och teknikutvecklingssvetket).** 1993b. Normer for maximal elforbrukning i hushaallsapparater m.m. (Standards for maximum electricity consumption in home appliances). Third edition report NUTEK 1992-24. Stockholm.

**OECD.** 1991. Estimation of green house gas emissions and sinks. Final Report from the OECD experts meeting, August.

**Onofre M. y J. Pérez.,** 1991., Enfermedades Respiratorias Causadas por la Inhalación Doméstica de Humo de Leña y de otros Materiales Biológicos. En Primera Reunión Internacional sobre Energía y Medio Ambiente en el Sector Residencial Mexicano (ed) Quintanilla J., Mexico D.F.

**Parry, M.L.** 1990. *Climate Change and World's Agriculture.* Earthscan. London.

**Pearman G.** 1991. Global Climate Change and the Energy Community. En *Limiting Greenhouse Effects: Controlling Carbon Dioxide Emissions.* Pearman (Eds). Wiley N.Y. USA.

**Pilkington.** 1990. Environmental policy and energy demand. Prepared in association with Oxford Economic Research Associates. Oxford UK.

**Pierce D., B. Edward, A. Markandya.** 1990. Sustainable Development: Economics and Environmental in the Third World. Earthscan Publications Ltd. London U.K.

**Peirce W.,** 1986. Economics of the Energy Industries. Wadsworth Publishing Company. USA.

**Philps M.,** 1991. The least Cost Energy Path for Developing Countries: Energy Efficient Investments for the Multilateral Development Banks. International Institute for Energy Conservation., Washington D.C.

**Pokorny, M.** 1987. *An Introduction to Econometrics.* B. Blackwell. Oxford.

**Radian Corporation.** 1990. *Emissions and cost estimates for globally significant anthropogenic combustion sources of NO<sub>x</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, CO y CO<sub>2</sub>.* Prepared for the office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC.

**Reddy, A. K. & J. Goldemberg.,** 1990., Energy in Developing Countries, Scientific American, Numero Especial "Energy for Planet Earth." September. pp 111-118.

**Reddy, A.K.** 1991. *Barriers to improvements in energy efficiency.* Lawrence Berkeley Laboratory report. LBL-31439. Berkeley CA.

**Reyes A.,** 1993. Normalización para el ahorro de energía eléctrica. En Memorias del XIV Seminario Nacional Sobre El Uso Racional de la Energía y Exposición de Equipos y Servicios. ATPAE. México D.F.

**Rodríguez G. E.,** 1991. Análisis de la Relación Ingreso Familiar-Gasto en Energía Frente al Consumo Energético Familiar. En Quintanilla J. (ed.) *Primera reunión internacional sobre energía y medio ambiente en el sector residencial mexicano.* Diciembre 1991. Universidad Nacional Autónoma de México-University of California. México D.F.

**Rodríguez L.**, 1991. *Habitos de Consumo de Energía en un Conjunto Habitacional*. En *Primera Reunión Internacional sobre Energía y Medio Ambiente en el Sector Residencial Mexicano* (ed) Quinatnilla J., Mexico D.F.

**Ross M.H, P. Thimmapuram, R.E. Fisher, & W. Maciorowski.** 1993. *Long Term Industrial Energy Forecasting (LIEF) Model (18-Sector Version)*. Argonne National Laboratory ANL/EAIS/TM-95. Argonne Ill. U.S.A.

**Sada J. & N. Granados.**, 1993. "Reglamentación y Oferta Económica de Energía Eléctrica". En *Memorias del XIV Seminario Nacional Sobre El Uso Racional de la Energía y Exposición de Equipos y Servicios*. ATPAE. México D.F.

**Sathaye J. & Ketoff A.**, 1991. *CO<sub>2</sub> Emissions from Developing Countries: Better Understanding the Role of Energy in the Long Term*. Volume 1: Summary. Lawrence Berkeley Laboratory, LBL-29507. Berkeley CA.

**Sathaye, J., R. Friedmann, S. Meyers, O. De Buen, A. Gadgil y E. Vargas.** 1994. *Economic analysis of ILUMEX: A project to promote energy efficiency residential lighting in Mexico*. Lawrence Berkeley Laboratory Report. LBL-34877. Berkeley, CA.

**Selman, M.** 1992. *Informe interno del Instituto de Enfermedades Respiratorias*. México DF.

**Schipper, L., & A. Ketoff.** 1985. "Changes in Household Oil Use in OECD Countries: Permanent or reversible?" *Science* 224 (December 6).

**Schipper, L., A. Ketoff & A. Kahane.** 1985. "Explaining Residential Energy Use by International Bottom-up Comparisons". *Annual review of Energy*. VI. No. 10:341-405.

**Schipper, L.** 1987. "Energy conservation policies in the OECD: Did they make the difference?" *Energy Policy*. December 1987: 538:549.

**Schipper, L., Bartlett S, D. Hawk, & E. Vine E.**, 1989. "Linking Lifestyles and Energy Use: A Matter of Time?". *Annual Review of Energy*, VI, No.14: 273-320.

**Schipper, L., Howarth R., & Geller H.**, 1990. "United States Energy Use from 1973 to 19987: The impacts of Improved Efficiency". *Annual Review of Energy*. V15: 455-504.

**Schipper, L., & D. Hawk.**, 1991. "More Efficient Household Electricity Use: An International Perspective". *Energy Policy* V19, No.3:244-263.

**Schipper, L., S. Meyers with R. Howarth, & R. Steiner.** 1992a. *Energy Efficiency and Human Activity*. Cambridge University Press. U.K.

**Schipper L., S. Meyers., M.Grubb., M.Chadwick & L. Kristoferson.**, 1992b, *World Energy: Building a Sustainable Future*. Stockholm Environmental Institute. Stockholm Sweden.

**Schipper, L., R. Steiner., F. Duerr, F. Ann, & S. Storm.**, 1992c. "Energy Use in Passenger transport in OECD Countries: Changes between 1970 and 1987". *Transportation*, No. 19, 25-42.

**Schipper L. & E. Martinot.**, 1993. "Decline and Rebirth, Energy demand in the former USSR". *Energy Policy*. September. 969-977.

- Schipper, L. & C. Sheinbaum.** 1993. "Uso de Energía Residencial en los países de la OCDE". En *Memorias del XIV Seminario Nacional Sobre el Uso Racional de la Energía y Exposición de Equipos y Servicios*. Noviembre 1993. ATPAE. México D.F.
- Schipper, L. & C. Sheinbaum.** 1994. "Household Energy Use Efficiency in OECD Countries". En prensa. *Environment*.
- Schneider, S.** 1989. "The changing climate". *Scientific American*. V261. No.3: 70-80
- Selby, H. A.** 1990. *The Mexican Urban Household*. University of Texas Press., Texas.
- Secretaría de Energía Minas e Industria Paraestatal (SEMIP).** 1966-85, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991. *Balance Nacional de Energía*. México D.F.
- SEMIP.** 1988. *Energía Rural en México*. (10 vol). México D.F.
- Sheinbaum, C.** 1990. *Estudio Termodinámico de una estufa de leña para el medio rural*. Tesis Licenciatura en Física. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Sheinbaum, C.** 1990. *Economía del uso eficiente de la energía en iluminación*. Tesis de Maestría Ingeniería Energética, Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Sheinbaum C., & L. Schipper.** 1993. "Residential sector carbon dioxide emissions in OECD countries, 1973-1989.: A comparative analysis". In R. Ling and H. Wilhite (eds.) *Proceedings of the 1993 ECEEE Summer Study: The Energy Efficient Challenge for Europe*. The European Council for an Energy Efficient Economy, Oslo, Norway.
- Sheinbaum C.** 1993. "Políticas de conservación de electricidad en México: Costos sociales y alternativas". *Momento Económico*. No. 67. Mayo-Junio 1993. Instituto de Investigaciones Económicas. UNAM. México D.F.
- Shorrock, L.D., G. Anderson & J.H. Brown.** 1991. *Domestic energy fact file*. Building Research Establishment report.
- Sosa S.W.** 1990. Crecimiento económico de importaciones en México. Instituto de Investigaciones Económicas. UNAM. México D.F.
- Torvanger, A.** 1991. "Manufacturing sector carbon dioxide emissions in nine OECD countries 1973-1987: A Divisa index decomposition to changes in fuel mix, emission coefficients, industry structure, energy intensities, and international structure". *Energy Economics*. V 13 No. 13:168-186.
- Turiel, I., D. Berman, P. Chan, T. Chan, J.M. Koomey, B. Levot, M.D. Levine, J. Mc Mahon, G Rosenquist, & S. Stoff.** 1991. "U.S. Residential appliance energy efficiency: Present status and future directions". In D. Vine & D. Crawley (eds). *State of the art of energy efficiency: Future directions*. Washington DC. ACEEE.
- Turner, K., D. Pearce & S. Batemann.** 1993. *Environmental Economics: an elementary introduction*. The John Hopkins University Press. London.
- Tyler, S. & L. Schipper** 1990. "The dynamics of electricity use in Scandinavian households". *Energy*, V15. No. 10: 841-63.

- U.K. Department of Energy.** 1975 a 1991. *Digest of U.K. energy statistics.* Her Majesty's stationary office. London.
- U. S. Department of Energy (U.S. DOE)** .1980. *Architects and engineers guide to energy conservation in existing buildings.* Washington, DC.
- U. S. Department of Energy (U.S. DOE).** 1987. 1990. 1992. *Annual Energy Consumption Survey.* US Department of Energy, Washington D.C.
- U.S. DOE.,** 1989. *Energy Conservation Standards fro Consumer Products: Refrigerators and Furnaces Report,* Technical Support Document: DOE/CE-2077, US Department of Energy, Washington D.C.
- U. S. DOE.** 1991. *Conservation and renewable energy technologies for buildings.* Prepared by Solar Energy Research Institute. USDOE/CH10093-85.
- U.S. DOE.** 1993. Technical support document: Energy efficiency standards for consumer products: Refrigerators and freezers. U.S. Department of Energy DOE/EE-0009 Vol. 1. Washington DC.
- U.S. Energy Information Administration.** 1990. *Energy consumption and conservatio potential: Supprting analysisi for the National Energy Strategy.* SR/NES/90-02. Washington DC. US DOE.
- U.S. Environmantal Protection Agency (Lashof D. y D. Torpak, eds.).** 1990. *Policy options for stabilizing global climate.* . Hemisphere Publishing Company, Washington D.C.
- U.S. Environmantal Protection Agency (EPA).** 1992. *Environmental Information Management.* Hemisphere Publishing Company, Washington D.C.
- Viqueira, J.** 1993. *El desarrollo futuro de la industria eléctrica de México en el contexto del Tratado de Libre Comercio de América del Norte.* Mimeo, Facultad de Ingeniería. México D.F.
- Ward, P.** 1990. *Mexico City: The production and reproduction of a urban environment.* Hall& Co. Boston, Mass.
- Willars J. & A. Heredia.** 1990. "Caracterización energética del sector doméstico mexicano". *Cuadernos sobre energía,* No.1. DEPMI-UNAM. México D.F.
- Wilson, D., L. Schipper, S. Tyler and S. Bartlett.** 1989. *Policies and programs for promoting energy conservation in the residencial sector: Lessons from five OECD countries.* Lawrence Berkeley Laboratory Report. LBL-27289. Berkeley CA.
- World Bank.,** 1992. *Development and the Environment.* World Development Report 1992, Oxford University Press. N.Y. USA.

## **Apéndice I**

### **Fuentes de los datos para los países de la OCDE.**

Una base de datos de uso de la energía residencial por usos finales, en general puede ser dividida en cinco secciones importantes: (1) La información censal que consiste de población, número de viviendas, número de viviendas ocupadas, número de departamento y de casas individuales, etc. (2) La información del suministro por vivienda (y si es posible tipo de vivienda) de las distintas fuentes de energía para cada uso final, es decir, cuantas casas utilizan el gas o la electricidad como principal fuente de energía para calefacción (o calentamiento de agua o cocción). (3) El consumo unitario por uso final o electrodoméstico por tipo de vivienda o en su caso promedio, por ejemplo, cual es el consumo promedio por vivienda de gas natural para cocción (de aquellos hogares que utilizan esta fuente de energía para dicho uso final) y (4) La saturación y consumo unitario de los electrodomésticos más importantes (refrigerador, lavadoras, secadora, etc.) y (5) El balance de energía (energía total residencial por fuente) nacional para el sector residencial.

Para cada uno de los países de la OCDE, los datos referentes al uso de la energía residencial por usos finales tienen un nivel distinto de desagregación y una periodicidad distinta. En lo referente a la saturación de electrodomésticos todos los países cuentan con datos provenientes, en su gran mayoría, de las compañías eléctricas. En relación a los demás usos finales (calefacción, calentamiento de agua y cocción) solamente cuatro países de los nueve en el estudio, realizan encuestas periódicas que son publicadas y de fácil acceso. Estos países son la ex-Alemania occidental, Francia, Dinamarca y Estados Unidos. Es necesario recalcar que una parte importante de la base de datos (en algunos casos de 1973 a 1985) para los nueve países había sido desarrollada ya, por distintos investigadores del Lawrence Berkeley Laboratory. En todos los casos, sin embargo, la información fue revisada y en muchas ocasiones modificada con base en las fuentes originales de información.

Para la ex-Alemania occidental, la fuente principal de los datos son los balances de energía (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 1970, 1980,1990), e información proveniente de encuestas internas de la compañía petrolera Schell.

Para Francia, la fuente principal son las publicaciones de "Agence Francaise pour la Matrisse d'Energie (1990)" y "Electricite de France" (1980, 1990)

Los datos de Dinamarca provienen de la Agencia Danesa de Energía (DEA Energistyrelsen 1990). Las características de los hogares provienen de "Bygning og Bolig Register" y de las compañías eléctricas (Danish Elvaerkers Forening 1990)

La base de datos para Estados Unidos fue construida a partir de la información del Departamento de Energía (U.S. DOE), basada en la publicación: "Residential Energy Consumption Surveys" y de la "Annual Housing Survey", de los Censos de población y vivienda y del grupo de electrodomésticos del Lawrence Berkeley Laboratory".,

En el caso particular de Japón, se publica anualmente el uso de la energía residencial por usos finales, sin embargo es prácticamente imposible conocer el consumo unitario de los aparatos domésticos que no son eléctricos, lo que hace muy difícil el cálculo del porcentaje de familias que utilizan uno u otro energético. Asimismo, el uso de la energía es muy distinto en este país, ya que se utilizan diversos aparatos que a su vez usan diversas fuentes de energía para un mismo uso final. Por ejemplo para calentamiento del hogar se utilizan en una misma vivienda (esto es muy común) un pequeño calentador de kerosene y un pequeño calentador eléctrico. Esto hace imposible determinar cual es la principal fuente de energía para un mismo uso. De la misma manera, en la mayoría de las casas japonesas existen dos calentadores (uno eléctrico y otro de gas LP o de gas natural) uno para la cocina y el otro para el baño. La fuente de datos principal proviene publicaciones internas del "Japan Institute of Energy Economics".

En el caso de Italia, la saturación y consumo unitario de los electrodomésticos se publica cada dos años por parte de las compañías eléctricas. En el caso de las otras fuentes de energía, es más difícil encontrar una publicación periódica en este sentido. Sin embargo el mayor problema es que en el balance de energía nacional, se encuentra de manera agregada el sector residencial y el comercial. La desagregación de estos sectores se estima con base en diversas fuentes, entre las que se encuentran "ENEL", Italgas (distribuidora de gas), y artículos de autores como Ketoff (1984) y La Bella (1992).

**En el caso de Gran Bretaña, las fuentes de los datos principales son el "Digest of UK Energy Statistics" y las publicaciones del "Building Research Establishment" e información interna de las compañías de gas, (British gas) y eléctricas.**

**Para Suecia las fuentes son: "Energistatistik for Smohus" Energistatistik for Flerostadushus", Compañías eléctricas y encuestas privadas como Carlsson (1985), interpretadas en el LBL.**

**Finalmente en el caso de Noruega, la información proviene del "Central Bureau of Statistics". Datos de equipo doméstico provienen de diversas encuestas de Esso, CBS e información personal proveniente de encuestas desarrolladas por Saritta Bartlett del Departamento de Energía de Noruega.**

## Apéndice II

### Procedimiento de Autorregresión

Una regresión lineal múltiple es un modelo que expresa el comportamiento entre una variable dependiente "y", debido al cambio de una serie de variables independientes, que podemos denominar " $x_1, x_2, \dots, x_m$ ". La variabilidad de "y" tiene dos componentes, una llamada sistémica y la otra aleatoria (Hoel 1987). La parte sistémica de "y", puede ser modelada como una función de las variables  $x_m$ . Este modelo es denominado la ecuación de regresión. La parte aleatoria, toma en cuenta el hecho de que el modelo no necesariamente describe el comportamiento de la respuesta.

Formalmente las regresiones múltiples lineales puede ser expresada por:

$$y = A_0 + A_1X_1 + A_2X_2 + \dots + A_nX_n + e \quad (A.1)$$

Donde:

y : variable dependiente  
 $x_n$ : variables independientes  
 $A_n$  : parámetros desconocidos  
e : término de error aleatorio

La técnica de mínimos cuadrados es la más comúnmente usada para estimar los parámetros  $A_n$ . El objetivo de este método es encontrar estimaciones de los parámetros  $A_n$ , tales que minimicen el cuadrado de las diferencias entre los valores de "y" y los valores predichos por la ecuación (Freund & Littel 1991). Cuando la serie de datos que se analizan es una serie de tiempo y los parámetros son calculados con el método de mínimos cuadrados, es común encontrar lo que se denomina autocorrelación. Esto significa que el término que corresponde al error tiene un comportamiento no aleatorio. La

presencia de este tipo de error, representa una contradicción con la definición original de la ecuación de regresión lineal.

Uno de los métodos más comunes para eliminar la autocorrelación en un modelo es el denominado *autorregresión*. En general, cuando un valor retrasado de la variable dependiente aparece como regresor en la estimación de una relación, se tiene el caso de autorregresión. Este método está basado en la suposición de que una variable está influenciada por la misma variable pero en un periodo anterior, o en periodos anteriores. Esta suposición es la base incluso de teorías como la denominada "hábito persistente del consumo", que sugiere que el consumo en el año  $t$  depende de lo que se consumió en el año  $t-1$  (Kennedy 1985).

Sin embargo, existe un problema cuando se quiere introducir una variable retrasada a la ecuación. La variable retrasada dependiente no es independiente de todo el vector de disturbancia. En particular la variable retrasada del periodo  $t$  (es decir  $t-1$ ), estará correlacionada con el periodo  $t-1$ , pues esta disturbancia se determina en gran medida por el valor de la variable dependiente en el periodo  $t$ . Aun más, si la variable dependiente retrasada esta determinada en parte por la variable dependiente del periodo  $t-2$ , entonces la variable dependiente estará correlacionada con la disturbancia del periodo  $t-2$ . Sin embargo, la variable retrasada del año  $t$  no está correlacionada con la variable retrasada del mismo año  $t$ , ni con la del año  $t+1$ . Así que aun cuando la variable retrasada no es independiente del vector de disturbancia, si lo es de la disturbancia contemporánea. Esto significa que la variable con disturbancia puede ser utilizada como un estimador (Kennedy 1985).

Existen diversos métodos matemáticos que transforman una ecuación con problemas de estimación en otra que queda libre de estos problemas. Algunos de estos son "Durbin two stage method", "Maximum likelihood estimation", etc. En este caso, la que se utiliza es la denominada "Yule- Walker"(Freund & Littel 1991).

Este método utiliza los residuos de un análisis de mínimos cuadrados ordinarios para estimar el conjunto de parámetros de la autorregresión. Estos parámetros son utilizados para mejorar el método de mínimos cuadrados generalizados, generando una transformación de las variables en el modelo.

Para ello se supone que el término de perturbación "e" de la ecuación (A.1) está relacionado con los términos de perturbación en periodos sucesivos de tiempo, de tal manera que "e<sub>t</sub>" se define como una función F(e<sub>t-1</sub>). Si esta función se supone lineal, con una pendiente ρ y una ordenada al origen u, entonces se puede escribir a "e" como:

$$e_t = \rho e_{t-1} + u_t \quad (A.2)$$

y de acuerdo con Pokorny (1987) la variancia de este termino se deduce como:

$$\sigma_e^2 = \sigma_u^2 / (1 - \rho^2) \quad (A.3)$$

Si se retrasa toda la ecuación un periodo de tiempo, entonces:

$$e_{t-1} = \rho e_{t-2} + u_{t-1} \quad (A.4)$$

lo que significa que "e<sub>t</sub>" está directamente relacionado con "e<sub>t-1</sub>", a esto se le llama un esquema autorregresivo de primer orden. Bajo este modelo, la ecuación (A.1) quedará expresada como:

$$Y_t = A_0 + A_1 X_t + A_2 X_{t-1} + \dots + A_n X_{t-n} + e_t \quad (A.5)$$

Utilizando el modelo de Koyck (Kennedy 1985) puede asumirse que los coeficientes A<sub>i</sub> decaen geoméricamente con el tiempo. Esto significa que:

$$A_i = A_0 \lambda^k \quad (A.6)$$

donde k = 1.....n.

A su vez se puede demostrar (Kennedy 1985) que:

$$\lambda^k = \lambda_{t-k}$$

Entonces la ecuación (A.5) se transforma en:

$$Y_t = A_0 + A_0 X_t + A_0 \lambda_{t-1} + A_0 \lambda_{t-2} + \dots + A_0 \lambda_{t-n} + e_t \quad (A.7)$$

Ahora, recordando la ecuación (A.2),  $e_t = \rho e_{t-1} + u_t$ .

entonces la ecuación (A.7):

$$Y_t = A_0 + A_0 X_t + A_0 \lambda_{t-1} + A_0 \lambda_{t-2} + \dots + A_0 \lambda_{t-n} + \rho e_{t-1} + u_t$$

(A.8)

Si  $\rho$  fuese igual a  $\lambda$ , entonces se tendría una ecuación solamente en función de  $\lambda$ , lo cual facilita la resolución de la ecuación y lo más importantes, remueve la autocorrelación original.

En general, mientras más parecidos sean  $\rho$  y  $\lambda$ , mayor éxito tendrá la transformación en remover la autocorrelación original.