

01178



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**

**CONSUMO DE LEÑA EN EL**  
**SECTOR RESIDENCIAL DE MEXICO**  
**Evolución histórica y emisiones de CO<sub>2</sub>**

**TESIS QUE PRESENTA**

**RODOLFO DIAZ JIMENEZ**

**PARA OBTENER EL GRADO DE**  
**MAESTRO EN INGENIERIA**  
**( ENERGETICA )**

**Director de Tesis: Dr. Omar Masera Cerutti**

281909



**México D. F.**

**2000**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.

## RESUMEN

# CONSUMO DE LEÑA EN EL SECTOR RESIDENCIAL DE MÉXICO

### Evolución histórica y emisiones de CO<sub>2</sub>

Rodolfo Díaz Jiménez

Convencionalmente se ha considerado que la leña es un combustible con una baja aportación al sector energético de México, por lo que es hasta mediados de los años ochenta cuando se le incorpora al balance energético del país. Las dependencias encargadas de la realización del balance nacional de energía, primero la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal (SEMIP) y actualmente la Secretaría de Energía han usado una metodología que presenta deficiencias e inconsistencias en la contabilización del consumo de leña.

Alternativamente en este estudio se desarrolla un modelo para determinar el consumo energético de la leña en el sector residencial de México. Este modelo se elaboró a partir de la metodología denominada por "usos finales", la cual permite determinar el consumo de energía a partir de las necesidades o tareas energéticas. Para la estimación del consumo de leña mediante el modelo propuesto, se utilizaron tres variables que han mostrado una influencia determinante en el consumo de leña: i) la Saturación de los usuarios de leña (S), ii) el Consumo Unitario de leña (CU) y iii) el Poder Calorífico de la madera (PC). Para las dos primeras variables la información se desagregó por estado, subsector (rural y urbano) y tipo de usuario (exclusivo de leña y mixto). Los valores para cada una de estas variables se asignó con base en un análisis exhaustivo de encuestas locales, regionales y nacionales, y en estudios de caso detallados sobre el consumo de leña; efectuados en nuestro país. Para este estudio se incluyó a los usuarios mixtos, personas que usan leña y otro combustible, generalmente gas LP. El análisis se realizó para el periodo 1960-1990, generándose una serie histórica coherente y precisa sobre el consumo de leña en el sector residencial de México. El consumo energético se proyectó al año 2000. Además se estimaron para 1990 y 2000, las emisiones de dióxido de carbono generados por el uso de leña como combustible.

Se estimó que en 1990 la leña aportó 316 PJ/año, esto es el 46% de la energía final consumida por el sector residencial. Se espera que para el año 2000 la contribución de leña alcance los 320 PJ/año. Para 1990 la población nacional usuaria de leña alcanzó los 27 millones de habitantes. Nueve de cada diez habitantes rurales y once de cada cien habitantes urbanos usan este energético como combustible principal en la cocción de alimentos. Los usuarios exclusivos de leña disminuyeron de 23 a 18 millones de habitantes, mientras que los usuarios mixtos presentan una tendencia creciente; en el periodo 1960-1990 se incrementaron de 1 a 8 millones, y se espera que alcancen los 10 millones en el año 2000. Respecto al uso del gas LP, se puede afirmar que más que un combustible que sustituya a la leña, se usa como un energético complementario.

Además, se realizó un primer esfuerzo para agrupar a los estados que presentan características similares en el consumo de leña. Esta clasificación se basó en tres variables que han demostrado su influencia crítica en la dinámica del consumo de leña: i) Saturación de los usuarios de leña en el área rural, ii) Población que usa leña y iii) Tasa media de crecimiento anual de los usuarios de leña. Esta regionalización muestra que existe una alta concentración de usuarios de leña en los estados de Campeche, Chiapas, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Tabasco, Veracruz y Yucatán; los cuales en conjunto consumen el 66% de la energía nacional proporcionada por la leña.

Finalmente se calcularon las emisiones generadas por el uso de leña como combustible, a partir de la metodología propuesta por el IPCC y considerando un Índice de Renovabilidad del Uso de Leña (IRUL) específico para cada región. En 1990, este energético emitió a la atmósfera 10 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, que representan el 2% de las emisiones nacionales de este gas de efecto invernadero.

A mis padres:  
**Dominga Jiménez y Juan Rodolfo Díaz**  
cuyos hombros me han soportado y empujado siempre.

A mis hermanos:  
**Fabiola, Araceli y Ramiro**  
por recorrer juntos el camino de la vida.

A mis sobrinos:  
**Fani, Fabi, Dani, y al que está por llegar**  
esperando contribuir un poco para dejarles un mundo mejor  
(o menos peor)

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo ha sido posible gracias a la ayuda y colaboración de muchas personas, por lo que agradezco infinitamente a cada una de ellas su apoyo.

Quiero agradecer especialmente al Dr. Omar Masera Cerutti por la dirección de esta tesis, por su apoyo constante y orientación para la realización de este estudio.

A todos los maestros que participaron en mi formación como ingeniero energético, particularmente a la Dra. Claudia Sheinbaum Pardo, por ayudarme a perfilar mis inquietudes sobre las fuentes renovables de energía, por ponerme en contacto con Omar Masera y por revisar este trabajo.

Al Dr. Pablo Mulás del Pozo, Dr. Fabio Manzini Poli y al Dr. Víctor Rodríguez-Padilla por revisar esta tesis, por sus observaciones y sugerencias.

A Marisela por el maravilloso tiempo compartido, el apoyo incondicional, el ánimo constante, la confianza, el entusiasmo, los grandes viajes.

A todos los amigos y compañeros que han estado presentes en mi desarrollo personal y profesional, a la comunidad oaxaqueña del Poli: Sandro, Alejandro y Javier. A la colectividad de foráneos en Pátzcuaro, a Miriam por su hospitalidad, a Santiago por esas grandes conversaciones, a Karla Katihusca por sus aportaciones semióticas.

A la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería (DEPFI-UNAM), por forjarme como ingeniero energético.

El apoyo financiero para la realización de mis estudios de posgrado y tesis estuvo compartido por varias instituciones:

A la "fundación" Díaz Jiménez, por apoyarme durante muchos años.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca-crédito que me permitió realizar mis estudios de maestría.

Al Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM) por la beca para realizar este trabajo de investigación.

Al Departamento de Ecología de los Recursos Naturales del Instituto de Ecología de la UNAM (DERN-UNAM) y al Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiable A. C. (GIRA), por las facilidades proporcionadas para la realización de este trabajo.

## CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN</b>   | <b>1</b>  |
| <b>IMPORTANCIA DE LA BIOMASA</b>  |           |
| <br>  |           |
| <b>CAPITULO I</b>   | <b>11</b> |
| <b>PERSPECTIVAS DE ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE LEÑA</b>                       |           |
| 1.1. Factores que determinan la demanda de leña                             | 11        |
| 1.1.1. Sociales, económicos y culturales                                    | 12        |
| 1.1.2. Ambientales o físicas  | 13        |
| 1.1.3. Técnicos   | 13        |
| 1.1.4. Acceso y disponibilidad de combustibles                              | 14        |
| 1.1.5. Análisis integrado   | 15        |
| 1.2. El estudio de la demanda de leña según la metodología por usos finales | 16        |
| 1.3. Modelo para determinar el consumo de leña                              | 17        |
| <br>  |           |
| <b>CAPITULO II</b>  | <b>20</b> |
| <b>MODELO PARA DETERMINAR EL CONSUMO DE LEÑA EN MÉXICO</b>                  |           |
| 2.1. Determinación del modelo para estimar el consumo de leña en México     | 20        |
| 2.1.1. Saturación "S"   | 21        |
| 2.1.2. Consumo Unitario "CU"  | 29        |
| 2.1.3. Poder Calorífico "PC"  | 35        |
| 2.2. Consumo energético de la pequeña industria "PI"                        | 37        |
| 2.3. Parametrización del modelo de demanda de leña en México                | 38        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPITULO III</b>  |           |
| <b>EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE LEÑA EN MÉXICO (1969-2000)</b>                   | <b>41</b> |
| 3.1. Aspectos generales de población y vivienda en México                      | 41        |
| 3.1.1. Subsector urbano  | 42        |
| 3.1.2. Subsector rural   | 43        |
| 3.2. Evolución nacional de los usuarios de leña                                | 43        |
| 3.2.1. Desagregación por sectores  | 45        |
| 3.2.2. Desagregación por tipo de usuario                                       | 46        |
| 3.2.3. Evolución de los usuarios exclusivos de leña<br>por tamaño de población | 49        |
| 3.3. El consumo de leña en México y su evolución                               | 52        |
| 3.4. Proyección del consumo de leña al año 2000                                | 56        |
| 3.5. Conclusiones  | 57        |
| <br>   |           |
| <b>CAPITULO IV</b>   |           |
| <b>CONSUMO REGIONAL DE LEÑA</b>  | <b>59</b> |
| 4.1. Regionalización del consumo de leña                                       | 59        |
| 4.1.1. Construcción del Índice de Consumo<br>Estatad de Leña "ICEL"            | 61        |
| 4.1.2. Clasificación de estados a partir del "ICEL"                            | 61        |
| 4.1.3. Regionalización   | 64        |
| 4.2. Evolución de los usuarios de leña por región                              | 65        |
| 4.2.1. Región poco crítica   | 65        |
| 4.2.2. Región medianamente crítica   | 66        |
| 4.2.3. Región crítica  | 67        |
| 4.3. Consumo regional de leña  | 67        |
| 4.4. Proyección al año 2000  | 70        |
| 4.5. Conclusiones  | 71        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>CAPITULO V</b>   |            |
| <b>EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO POR EL USO DE LEÑA</b>                     | <b>73</b>  |
| 5.1. Cambio climático global y gases de efecto invernadero "GEI"              | 73         |
| 5.2. Emisiones de GEI en México   | 74         |
| 5.3. Emisiones de CO <sub>2</sub> por el uso de leña en el sector residencial | 74         |
| 5.4 Conclusiones  | 79         |
| <br>  |            |
| <b>CONCLUSIONES</b>   | <b>80</b>  |
| <br>  |            |
| <b>REFERENCIAS</b>  | <b>86</b>  |
| <br>  |            |
| <b>APÉNDICES</b>  |            |
| <br>  |            |
| <b>APÉNDICE I</b>   |            |
| <b>FUENTES DE INFORMACIÓN Y MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN</b>                      | <b>93</b>  |
| <br>  |            |
| <b>APÉNDICE II</b>  |            |
| <b>CONTENIDO ENERGÉTICO DE LA MADERA</b>                                      | <b>97</b>  |
| <br>  |            |
| <b>APÉNDICE III</b>   |            |
| <b>BASE DE DATOS POR ESTADO (1960-1990)</b>                                   | <b>106</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Tabla 1   | Demanda mundial de leña (1990)  | 5  |
| Tabla 2   | Estimaciones del consumo residencial de leña en México                                | 9  |
| Tabla 3   | Principales usos finales de la leña (% de usuarios)                                   | 22 |
| Tabla 4   | Saturación municipal por usos finales (% de usuarios)                                 | 22 |
| Tabla 5   | Saturación de combustibles en áreas rurales (% de familias)                           | 24 |
| Tabla 5a  | Saturación de combustibles en áreas urbanas (% de familias)                           | 24 |
| Tabla 6   | Consideraciones para la saturación de usuarios de leña por año                        | 26 |
| Tabla 7   | Determinación de la saturación rural de leña por región (% de usuarios)               | 27 |
| Tabla 8   | Saturación estatal por décadas 1960-2000  | 28 |
| Tabla 9   | Consumo unitario de leña para uso doméstico en México ENCUESTAS                       | 30 |
| Tabla 10a | Consumo unitario de leña para uso doméstico en México ESTUDIOS DE CASO                | 31 |
| Tabla 10b | Consumo unitario de leña para uso doméstico en México ESTUDIOS DE CASO (continuación) | 32 |
| Tabla 10c | Consumo unitario de leña para uso doméstico en México ESTUDIOS DE CASO (continuación) | 33 |
| Tabla 11  | Contenido energético de la madera usada como combustible                              | 35 |
| Tabla 12  | Contenido energético y densidad para tres especies usadas como combustible            | 36 |
| Tabla 13  | Consumo de leña en pequeñas industrias seleccionadas                                  | 38 |
| Tabla 14  | Población y vivienda en México (1960-1990)  | 42 |
| Tabla 15  | Usuarios de leña por subsector (1960-1990)  | 45 |
| Tabla 16  | Usuarios exclusivos de leña (1960-1990)   | 47 |
| Tabla 17  | Usuarios mixtos (1960-1990)   | 49 |
| Tabla 18  | Usuarios de leña por tamaño de localidad (1960-1990)                                  | 50 |
| Tabla 19  | Evolución del consumo energético de leña por tipo de usuario en PJ/año (1960-1990)    | 53 |
| Tabla 20  | TMCA del consumo por tipo de usuario (1960-2000)                                      | 54 |
| Tabla 21  | Usuarios de leña 1960-2000  | 56 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| Tabla 22 | Proyección del consumo energético de leña por tipo de usuario en PJ/año (1990-2000) | 57 |
| Tabla 23 | Variables usadas para la estimación del ICEL  | 60 |
| Tabla 24 | Valores del ICEL y agrupamiento   | 62 |
| Tabla 25 | Evolución de los usuarios de leña.<br>Región poco crítica (1960-1990)               | 65 |
| Tabla 26 | Evolución de los usuarios de leña.<br>Región medianamente crítica (1960-1990)       | 66 |
| Tabla 27 | Evolución de los usuarios de leña.<br>Región crítica (1960-1990)                    | 67 |
| Tabla 28 | Formas de obtención de la leña % de hogares   | 76 |
| Tabla 29 | Formas de obtención de leña por región<br>% de hogares                              | 78 |
| Tabla 30 | Emisiones de CO <sub>2</sub> por región<br>(miles de ton de CO <sub>2</sub> /año)   | 78 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Figura 1  | Consumo mundial de madera para energía en 1990 (% por región)                                     | 6  |
| Figura 2  | Saturación de combustibles usados para cocinar por tamaño de localidad (1997)                     | 25 |
| Figura 3  | Evolución de los usuarios de leña según INEGI (1960-1990)   | 43 |
| Figura 4  | Evolución de la población total de leña (1960-1990)   | 44 |
| Figura 5  | Uso de leña por tamaño de localidad porcentaje de la población (1960-1990)                        | 51 |
| Figura 6  | Evolución de los usuarios de leña por tamaño de localidad, porcentaje de la población (1980-1990) | 51 |
| Figura 7  | Evolución nacional del consumo de leña por tipo de usuario PJ/año (1960-1990)                     | 54 |
| Figura 8  | Consumo nacional de leña en el sector residencial PJ/año (1960-1990)                              | 55 |
| Figura 9  | Consumo final residencial por tipo de energético (PJ/año) 1965-1997                               | 55 |
| Figura 10 | Proyección del consumo de leña para 2000 (PJ/año)   | 56 |
| Figura 11 | Usuarios de leña por estado, México 1990  | 60 |
| Figura 12 | Saturación de usuarios totales de leña  | 62 |
| Figura 13 | Población rural que usa leña, México 1990   | 63 |
| Figura 14 | Crecimiento de usuarios de leña (1980-1990)   | 64 |
| Figura 15 | Evolución regional del consumo de leña PJ/año (1960-1990)   | 68 |
| Figura 16 | Evolución del consumo de leña PJ/año Región poco crítica (1960-1990)                              | 69 |
| Figura 17 | Evolución del consumo de leña PJ/año Región medianamente crítica (1960-1990)                      | 69 |
| Figura 18 | Evolución del consumo de leña PJ/año Región crítica (1960-1990)                                   | 70 |
| Figura 19 | Proyección del consumo regional de leña en el año 2000 PJ/año (1960-2000)                         | 71 |

## INTRODUCCIÓN

### IMPORTANCIA DE LA BIOMASA

En su significado original el término biomasa se refiere a toda la materia orgánica generada por los procesos biológicos de los cinco reinos (vegetal, animal, fungi, protista y monera). Como todos los procesos vivos, la biomasa es un recurso muy variado y complejo debido a su interacción con los sistemas terrestre y acuático, con los nutrientes y las personas (Wereko-Brobby y Hagan, 1996); por lo tanto, sus principales características físicas y químicas son función directa de las condiciones ambientales en las que se desarrolla.

Se considera que la biomasa es renovable<sup>1</sup> porque forma parte del flujo natural y repetitivo de los procesos en la naturaleza, esta característica se logra mediante el aprovechamiento de la luz solar por las plantas a través de la fotosíntesis. La biomasa es un elemento indispensable para mantener el equilibrio ecológico, el cual permite conservar y enriquecer la diversidad biológica y el suelo.

Recientemente se ha utilizado el término "biocombustible" para designar a la biomasa destinada exclusivamente a la producción de energía (Smith, 1987). Está integrada por árboles, arbustos, pastos, cultivos y plantas acuáticas; también se incluyen los residuos y desechos orgánicos tanto forestales, agrícolas y animales como urbanos e industriales.

### La biomasa como energético

Existen diversas clasificaciones de la biomasa como fuente de energía Wereko-Brobby y Hagan (1996) proponen las siguientes:

a) ***Por el origen del combustible***

1. ***Combustibles de madera:*** leña, carbón vegetal y residuos de madera.
2. ***Residuos agrícolas:*** cáscaras (arroz, coco, etc.).
3. ***Residuos animales:*** estiércol de animales domésticos (vacas, aves de corral, etc.)
4. ***Cultivos energéticos:*** árboles, caña de azúcar, yuca, etc.

---

<sup>1</sup> Se considera que un recurso es renovable cuando su tasa de regeneración es mayor a la tasa de utilización.

**b) Por la forma de obtención y transformación para su uso final**

1. *Energía primaria*: el recurso se utiliza en su forma natural, la leña es el mejor ejemplo de energía primaria.
2. *Energía secundaria*: es necesaria alguna transformación del recurso para su uso, se subdivide en:
  - i) *Residuos de cultivos domésticos*: se obtienen de cultivos y plantas no leñosas.
  - ii) *Residuos animales*.
  - iii) *Biomasa procesada*, se clasifica en:
    - *Combustibles sólidos*: carbón vegetal, briquetas, "pellets".
    - *Combustibles gaseosos*: los principales productos son el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).
    - *Combustibles líquidos*: el alcohol etílico o etanol es actualmente el más importante pero también se obtiene metanol por destilación.

**Efectos ambientales**

Cuando se usa de manera renovable, la biomasa como fuente de energía posee efectos favorables para el ambiente; sirve como reservorio para el  $\text{CO}_2$  atmosférico, contribuye a la fertilización y estabilización de los suelos, y mejora sus características físicas; además, reduce la filtración de agua y evita la desertificación. Otra característica favorable es el bajo contenido de azufre, con lo cual se evitan los efectos dañinos de los óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ). Se considera que no produce  $\text{CO}_2$  porque en el proceso de combustión libera la misma cantidad de  $\text{CO}_2$  que absorbe del ambiente en su desarrollo (Charless, 1994); además en los procesos naturales de descomposición, la madera demanda la misma cantidad de oxígeno que mediante la combustión (Martínez, 1986). Por otra parte la conversión de desechos orgánicos en combustible, además de proporcionar energía, reduce el peligro ambiental asociado con su mala disposición.

Específicamente en muchas de las comunidades rurales, donde el principal combustible es la leña y la recolección es su mayor forma de obtención, la leña proviene de árboles, ramas y arbustos muertos. Este mecanismo ayuda a la conservación de los bosques y previene los incendios.

Por el contrario el uso no renovable o irracional de madera para combustible puede acelerar el deterioro de los bosques. La degradación forestal produce efectos negativos locales, regionales y globales. Localmente la carencia de leña puede ocasionar grandes problemas económicos porque se elimina una fuente de ingresos, conflictos sociales debido a que la extracción se realiza en otras propiedades (robo de madera), y problemas a la salud de los

consumidores por la emisión de sustancias nocivas durante el proceso de combustión. Sin embargo, la deforestación a media y gran escala no es causada por la extracción de leña como generalmente se supone, sino en mayor medida por las siguientes actividades (Olguín, 1994):

- i) Cambio de uso del suelo, de forestal a agrícola y pastoril.
- ii) Explotación irracional para la obtención de madera industrial, con un mínimo o nulo porcentaje de reforestación.
- iii) Incendios incontrolables.
- iv) Obtención de leña para pequeñas industrias.

En el ámbito global el uso no renovable de los biocombustibles contribuye al incremento de los gases de efecto invernadero, CO<sub>2</sub> principalmente, a la pérdida de acuíferos y a la disminución de la biodiversidad.

### Efectos a la salud

La combustión directa de la biomasa en condiciones no controladas genera además de CO<sub>2</sub>, una gran cantidad de partículas, hidrocarburos aromáticos policíclicos y monóxido de carbono (CO), todos con efectos adversos a la salud. Existe además una gran cantidad de compuestos químicos generados por la combustión de madera, según Cooper se generan (1982 en Smith, 1987):

- i) Diecisiete tipos de sustancias considerados "contaminantes prioritarios" por la US EPA<sup>2</sup>. Existe evidencia de su toxicidad y juntos forman el 4.8% de las partículas.
- ii) Más de catorce compuestos carcinógenos que representan alrededor del 0.5% de las partículas.
- iii) Seis tóxicos para los cilios y agentes muco-coagulantes, y
- iv) Cuatro precursores del cáncer.

Se ha descubierto también una gran cantidad de compuestos, Hubble *et al.*, (1982 en Smith, 1987) proporciona una lista de más de 180 sustancias "polares", 75 alifáticos y 225 hidrocarburos aromáticos. Otra característica destacable de las emisiones es su elevada acidez, el pH oscila entre 2.8 y 4.2 (Burnet *et al.*, 1986 en Smith, 1987).

---

<sup>2</sup> US EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, por sus siglas en inglés)

Por las condiciones adversas que predominan en las cocinas, la mayor cantidad de contaminantes se concentra en el interior de las viviendas y sus efectos a la salud dependen de factores como el tipo de emisiones, la concentración, el tiempo de exposición, y la dosis (Smith, 1987). Además influye también el historial clínico de las personas.

Las principales enfermedades asociadas con la inhalación del humo de leña en los hogares son: *a)* bronquitis crónica y obstrucción bronquial crónica, *b)* infecciones respiratorias agudas, *c)* bajo peso al nacer y trastornos perinatales, *d)* infecciones respiratorias agudas en niños, *e)* cáncer de pulmón y nasofaríngeo, y *f)* fibrosis pulmonar (Morán y Pérez-Padilla, 1992). Estos efectos adversos se pueden evitar mejorando el proceso de combustión y controlando las emisiones.

### Importancia mundial de los biocombustibles

La energía suministrada por la biomasa representa alrededor del 15%<sup>3</sup> de la energía total consumida en los países en vías de desarrollo (Hall *et al.*, 1993; Charless, 1994; Wereko-Brobby y Hagan, 1996); variando su aportación entre el 50% y el 90% nacional en la mayoría de los países en vías de desarrollo (Wereko-Brobby y Hagan, 1996). Su uso se concentra principalmente en áreas rurales y en zonas urbanas pobres. Básicamente se emplea para la cocción de alimentos, calentamiento de agua, acondicionamiento de espacios y en pequeñas industrias (panaderías, alfarerías, tortillerías, etc.) (Masera 1995).

Resultados preliminares del Sistema de Información Dendroenergético (WEIS<sup>4</sup>) de la FAO (Horta y Trossero, 1998), proporcionan los consumos de madera por regiones en países desarrollados y en vías de desarrollo (Tabla 1). Se observa que la leña representa el 7% de la energía primaria mundial consumida, de la cual el 76% se usa en los países en vías de desarrollo y el resto en los desarrollados.

Existen diferencias entre regiones del mundo y aún en el ámbito nacional, por ejemplo, en las islas pequeñas de Oceanía la leña proporciona el 52% de la energía demandada, mientras en la mayoría de los países del Sahara africano, Centroamérica, el Caribe y Asia tropical la leña es el principal energético usado en el sector residencial.

<sup>3</sup> Este porcentaje representa aproximadamente 55 Exajoules por año ( $55 \times 10^{18}$  J/año).

<sup>4</sup> Wood Energy Information System.

La contribución de la leña en los países desarrollados es diferente, por ejemplo, en la Gran Bretaña, Bélgica y Alemania la aportación de este energético es pequeña; mientras que en Finlandia, Suecia y Austria la madera proporciona alrededor del 17% de la demanda energética y en Francia la leña aporta apenas el 4% de la energía nacional consumida.

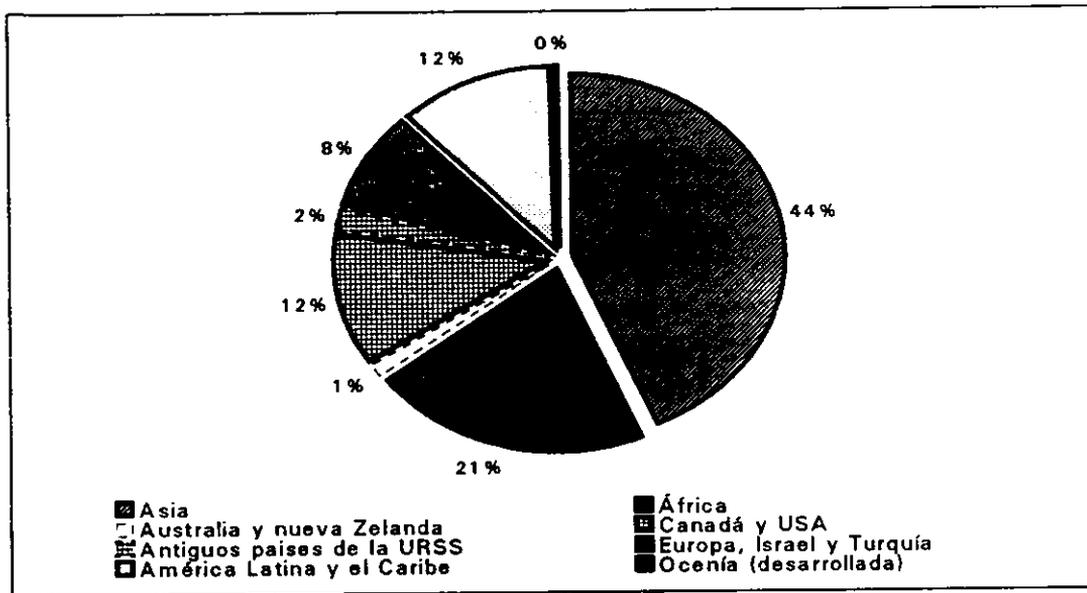
**Tabla 1. Demanda mundial de leña (1990)**

| Región                               | Leña total demandada |               | Relación<br>leña/ETC <sup>1</sup><br>(%) | Relación<br>leña/MTC <sup>2</sup><br>(%) |
|--------------------------------------|----------------------|---------------|--|--|
|                                      | 1000 m <sup>3</sup>  | PJ            |  |  |
| <b>Total de países en desarrollo</b> | <b>1,763,262</b>     | <b>17,633</b> | <b>15</b>                                | <b>80</b>                                |
| África                               | 486,248              | 4,862         | 35                                       | 89                                       |
| Asia                                 | 1,002,846            | 10,028        | 12                                       | 81                                       |
| Oceanía                              | 5,804                | 58            | 52                                       | 56                                       |
| América Latina                       | 268,346              | 2,684         | 12                                       | 66                                       |
| <b>Total países desarrollados</b>    | <b>536,754</b>       | <b>5,368</b>  | <b>2</b>                                 | <b>31</b>                                |
| Europa, Israel y Turquía             | 194,653              | 1,947         | 3  | 33                                       |
| Antigua URSS                         | 42,585               | 426           | 1  | 27                                       |
| Canadá y Estados Unidos              | 272,438              | 2,724         | 3  | 29                                       |
| Australia, N. Zelanda y Japón        | 27,079               | 271           | 1  | 36                                       |
| <b>Mundial</b>                       | <b>2,300,016</b>     | <b>23,001</b> | <b>7</b>                                 | <b>59</b>                                |

Notas: <sup>1</sup>ETC = Energía Total Consumida, <sup>2</sup>MT = Madera Total Consumida. Adaptado de Horta y Trossero, 1998.

En términos volumétricos se estima que aproximadamente el 60% de la madera extraída en el mundo se destina a la producción de energía. En promedio los países desarrollados utilizan alrededor del 31% nacional, mientras que los en vías de desarrollo emplean el 80%. Asimismo en los países en desarrollo donde vive el 77% de la población mundial se consumen cerca de tres cuartas partes de la leña (Figura 1).

**Figura 1. Consumo mundial de madera para energía en 1990  
(% por región)**



Fuente: Horta y Trossero, 1998.

Además de ser una importante fuente de energía la biomasa se emplea para satisfacer las principales necesidades de subsistencia: proporciona alimentos, se utiliza para construir viviendas, para la obtención de forraje, fibra y materia prima; de igual forma, su comercialización es una fuente importante de ingresos económicos para los pobladores locales.

El futuro de la biomasa como fuente de energía es prometedor, entre las mayores ventajas sobre los combustibles convencionales destacan:

- i) Es un recurso abundante y utilizándolo de forma renovable se garantiza su sustentabilidad.
- ii) Se espera que al convertirse en un combustible moderno, sus costos de producción sean competitivos.
- iii) Puede desempeñar un papel importante en las economías nacionales, al evitar la importación de combustibles fósiles.
- iv) Puede impulsar el desarrollo de las áreas rurales mediante la creación de empleos, y como consecuencia se disminuiría la migración.
- v) Las plantaciones energéticas pueden contribuir a la restauración de las tierras degradadas, y con esto, se evitarán emisiones de bióxido de carbono.

## Los biocombustibles en México

Existen dos tipos principales de biocombustibles que se utilizan en el país: la leña (incluyendo carbón vegetal y residuos forestales y agrícolas) y el bagazo de caña, juntos aportaron el 8.2% de la energía final nacional en 1996 (SE, 1996). El bagazo de caña se utiliza esencialmente en la industria azucarera, mientras que la leña es predominantemente un combustible del sector residencial.

La leña es aún la principal fuente de energía del sector residencial, Masera (1993) estimó que en 1990 este energético aportó alrededor de 335 PJ/año, es decir, el 46% de la energía residencial consumida. Sin embargo, dentro del sector residencial existen grandes diferencias entre el subsector rural y urbano, por ejemplo: mientras el área rural demandó el 73% de la leña, la urbana sólo el 23%. Asimismo uno de cada tres mexicanos cocinaba con leña, siendo el 91% habitantes rurales y el 11% urbanos.

A pesar de la importancia de la leña como energético, se han realizado pocos estudios sobre la situación de la leña, tanto en el ámbito comunitario como en el nacional. La mayoría de los análisis realizados han partido de diferentes enfoques, han empleado distintas metodologías y como consecuencia existe disparidad en los resultados. Los principales estudios para estimar el consumo de leña han sido:

### a) Encuestas regionales o nacionales

- La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) estimó en 1980, que más de 20 millones de personas usaban leña como energético con un consumo promedio por familia entre 5 y 8 m<sup>3</sup>/fam/año; en términos energéticos el consumo nacional oscila entre 193 y 309 PJ/año<sup>5</sup>.
- Entre 1983 y 1984 el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) determinó el patrón energético de 12 comunidades rurales en distintas zonas del país, posteriormente en seis comunidades de Guerrero y Oaxaca (1986).
- El Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) realizó entre 1985 y 1986 un estudio del sector doméstico sobre los principales combustibles usados, tanto en el área rural como urbana.

---

<sup>5</sup> Se determinó utilizando una densidad para la madera de 700 kg por metro cúbico y un PC igual a 16 MJ/kg

- El IIE realizó también, en 1986, un balance energético integral de la "macro región sur", que incluyó los estados de Guerrero y Oaxaca, la demanda energética de esta región fue de 38 PJ/año.
- En 1985 Guzmán *et al.*, estimaron la demanda nacional de leña en 414 PJ/año y 402 PJ/año para 1970 y 1980 respectivamente, utilizando un consumo per cápita de 3.5 kg/día y un poder calorífico (PC) de 16.74 MJ/kg.
- En 1986 la Dirección General de Investigación y Desarrollo de la Secretaría de Minas e Industria Paraestatal (SEMIP), efectuó un estudio preliminar para conocer la situación energética en el medio rural. Se realizaron estudios en 34 comunidades en los estados de Chihuahua, Guerrero, Jalisco, Michoacán y Tlaxcala.
- En 1987 la SEMIP estimó el patrón energético rural mediante la aplicación de encuestas en 110 comunidades, más las 34 comunidades anteriores y 8 poblaciones analizadas por el IIE (Guerrero y Oaxaca). Para este estudio se consideraron diversos aspectos (sociales, económicos, físicos, ambientales y energéticos) para dividir al país en sub-regiones, regiones y macro-regiones con características similares. Se obtuvo un consumo nacional de 293 PJ/año.
- Posteriormente Masera (1993) realizó un ajuste a la estimación de la SEMIP y hasta la fecha es la mejor aproximación que existe sobre el consumo energético rural, particularmente para el caso de la leña. Según este estudio, en 1990 la leña aportó 334 PJ/año (20.3 millones de ton/año o 34.6 millones de m<sup>3</sup>/año), sólo en el sector doméstico.

En resumen, las principales estimaciones sobre el consumo de leña en el sector residencial mexicano se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2. Estimaciones del consumo residencial de leña en México**

| Estimación                             | Consumo energético (PJ/año) | Volumen (m <sup>3</sup> /año) |
|--|-----------------------------|-------------------------------|
| SARH (1981)                            | n.d (1980).                 | 17.3 - 27.6                   |
| Guzmán <i>et al.</i> , (1985)          | 412 (1970)                  | 33                            |
|  | 402 (1980)                  | 32                            |
| SEMIP (1988)                           | 293 (1988)                  | n.d.                          |
| Masera <i>et al.</i> , (1993)          | 246 (1987)                  | 23.2                          |
| INIFAP (Castillo <i>et al.</i> , 1989) | n.d.                        | 17                            |
| Masera (1993)                          | 334 (1990)                  | 34.6                          |
| Sheinbaum (1996)*                      | 277 (1980)                  | n.d.                          |
|  | 274 (1990)                  | n.d.                          |
| SE (1996)                              | 245 (1996)                  | n.d.                          |
| Díaz-Jiménez y Masera (1999)           | 300 (1990)                  | n.d.                          |

Notas: El número entre paréntesis de la columna de consumo energético indica el año de estimación. \*Incluye leña para cocción de alimentos y calentamiento de agua. n.d. significa no definido.

## b) Estudios comunitarios

En el ámbito comunitario, los mayores esfuerzos han sido realizados por organizaciones no gubernamentales, destacan: Grupo de energética (GE UNAM); Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada A. C. (GIRA); Centro de Estudios Ecológicos (CECODES), Instituto de Ecología A. C. (IE), Programa de Aprovechamiento Integral de Recursos (PAIR UNAM), Instituto de Ecología (IE UNAM). La aportación de las instituciones educativas también ha sido importante, por ejemplo: Facultad de Ciencias (UNAM), Departamento de Recursos Forestales (UACH), entre otras.

A excepción de dos o tres instituciones, los esfuerzos han sido muy dispersos y generalmente carecen de continuidad. Recientemente la FAO (1997) realizó un estudio micro regional en zonas del sureste mexicano para caracterizar las dinámicas de consumo de leña. Actualmente el Programa de Acción Forestal Tropical A. C. (PROAFT) realiza un estudio sobre el consumo y disponibilidad de leña en tres micro regiones de Chiapas, Veracruz y Campeche.

Aunque el Balance Nacional de Energía (BNE) reporta una serie histórica del uso de leña, su elaboración presenta algunas deficiencias metodológicas; incluso, se han realizado varias modificaciones y correcciones en las cuales la participación de cada energético ha variado; en particular el consumo de leña ha decrecido en cada ajuste.

Ante esta situación es necesario elaborar una serie histórica coherente y precisa sobre el consumo de leña en el país. Esto permitirá conocer la dinámica del consumo de leña para generar un panorama amplio de la situación energética actual, sus diferencias regionales y su posible evolución futura. Asimismo facilitaría la elaboración de lineamientos generales que conduzcan al ahorro de energía, a la conservación y mejoramiento de los recursos forestales para garantizar la oferta energética y sobre todo para elevar la calidad de vida de los pobladores rurales.

El presente trabajo se divide en cinco capítulos, el primero incluye un análisis amplio de los factores que influyen la demanda de leña, a partir de ellos y de la metodología conocida como por "usos finales", se propone un modelo para determinar el consumo de leña. En el segundo capítulo se definen las variables que determinan el consumo de leña en México, se presenta también una amplia revisión de estudios de caso<sup>6</sup> y los valores reportados para las variables seleccionadas; finalmente se asignan los valores para este análisis. El capítulo tres presenta la evolución de los usuarios de leña por subsector (rural y urbano), por tipo de usuario (exclusivo de leña y mixto). También se muestra el comportamiento de los usuarios por tamaño de localidad para la década 1980-1990; finalmente se presenta la evolución del consumo de leña en el país desde 1960 a 1990, realizando una proyección al 2000. En el cuarto capítulo se desagrega el consumo de leña por regiones, se presenta la evolución de usuarios y el consumo de leña en el periodo 1960-1990. En el capítulo cinco se determinan, considerando un índice de renovabilidad del uso de leña, las emisiones generadas por el uso de este energético para el año 1990, se hace también una proyección al 2000. Finalmente se presentan las conclusiones y algunas recomendaciones encaminadas a profundizar los análisis sobre este energético para alcanzar el uso sustentable de la leña.

---

<sup>6</sup> Para mayor información sobre el proceso de recopilación y análisis de la información, ver el Apéndice I.

## **CAPITULO I**

# **PERSPECTIVAS DE ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE LEÑA**

Durante mucho tiempo la dinámica de uso de la leña se consideró como función directa del crecimiento de la población, sin embargo estudios detallados han mostrado una relación más compleja. Actualmente se considera que la dinámica de uso de la leña es función de la interacción de factores relacionados con la oferta y la demanda, entre los que destacan: los sistemas locales de producción, las condiciones biofísicas asociadas con el estado de los recursos naturales, variables socioculturales y tecnológicas y la estructura socioeconómica (Masera, 1995). Específicamente, el consumo de leña está relacionado con otras variables como educación, acceso a los recursos forestales y medios de transporte, prácticas de cocinado y otros factores (Masera, 1997).

En México las causas que motivan el uso de los recursos forestales como energético, son también complejas. Estudios realizados en varias regiones del país muestran que el uso de la leña es muy heterogéneo, esto se debe en gran parte a la diversidad de condiciones ambientales, económicas, sociales y culturales, además de los factores técnicos. Por ejemplo, Masera (1995) observó que dos comunidades vecinas presentaban características dendroenergéticas totalmente opuestas.

Este capítulo se divide en tres apartados, en el primero se describen los factores que influyen el consumo de leña, en el segundo se presenta la metodología por usos finales como una vía para analizar la demanda de leña en el sector residencial. Finalmente se obtiene un modelo para obtener el consumo de leña, partiendo de los principales factores que determinan su comportamiento.

### **1.1. Factores que determinan la demanda de leña**

El consumo de leña está influenciado por una gran cantidad de variables, a continuación se describen las principales agrupadas en sociales, ambientales, y técnicas.

### 1.1.1. Sociales, económicos y culturales

Uno de los principales factores que motivan el uso de leña en las comunidades rurales en nuestro país es que aún prevalece la economía de subsistencia en muchas de ellas; es decir, la producción cubre esencialmente las necesidades básicas de la población y como consecuencia las personas no disponen de recursos económicos para la adquisición o el uso continuo de combustibles "modernos"<sup>1</sup>. Generalmente dentro de la población rural, las familias más pobres son las que tienen mayores problemas para obtener combustibles. Además otra característica que determina la cantidad de combustible usado es el tamaño de la familia, en la zona rural el número de miembros por familia está ligeramente por encima de la media nacional.

Es importante recalcar que generalmente estas comunidades no cuentan con vías de comunicación adecuadas, ni con medios para transportar sus productos básicos, por lo cual sus opciones para utilizar otros combustibles son muy limitadas. Por otra parte, a pesar que en algunos lugares existen vías de acceso, la distribución de los combustibles "modernos" es insegura o problemática. Ante este hecho las personas no adoptan totalmente el uso de gas LP (licuado de petróleo) sino que se respaldan con los combustibles tradicionales (leña principalmente), realizando un uso mixto de combustibles (Masera, 1995).

Convencionalmente se pensaba que el acceso a los combustibles modernos eliminaba total y automáticamente el uso de leña, sin embargo, muchos estudios energéticos efectuados en las zonas rurales de México y en otras partes del mundo demuestran que esa afirmación no es correcta. En las comunidades donde se utiliza gas, éste sólo se emplea para realizar tareas pequeñas (calentar agua, calentar los alimentos, etc.); mientras la leña se sigue utilizando para actividades que demandan una gran cantidad de energía y el cocinado de alimentos tradicionales como la preparación de las tortillas (Evans, 1984; Masera, *et al.*, 1987; Masera, 1995; Arias, 1995).

En las áreas urbanas los usuarios de leña son en su mayoría personas que han emigrado de las zonas rurales y generalmente viven en los alrededores de las grandes urbes, igual que en las zonas rurales sus ingresos son mínimos y a pesar de que se tiene la infraestructura suficiente para la distribución de gas LP, ésta es aún insegura. Las personas usan leña para algunas actividades (calentar agua, hacer tortillas, etc.) porque aún es el combustible que puede adquirirse haciendo las menores erogaciones de dinero.

---

<sup>1</sup> Cuando se dice combustible moderno, nos referimos específicamente al gas LP (licuado de petróleo).

En términos culturales, la mayoría de usuarios rurales prefieren la leña para cocinar sus alimentos básicos (maíz, frijol y chile) en sus diversas formas; el principal argumento es el sabor de los alimentos (Arias, 1995; Masera, 1995; Masera *et al.*, 1997). Existe además el concepto religioso que algunas culturas le atribuyen al fuego (Navia, 1992), esto los motiva a mantener el fuego durante todo el día. En el país las costumbres alimenticias son muy diversas y la preferencia de sabor en los alimentos es muy marcada, esto indica que existe un gran número de formas para el cocinado de los alimentos, lo cual influye de forma directa en el consumo de leña.

### 1.1.2. Ambientales o físicas

En México existe una gran diversidad de condiciones climáticas que afectan en forma directa los patrones de uso de leña. Por ejemplo en los lugares fríos el consumo de leña se incrementa para contrarrestar los efectos adversos del clima.

En otros lugares con abundancia de lluvias, la mayor cantidad de leña se recolecta en época de secas (primavera y otoño), esto tiene consecuencias particulares sobre el bosque. Es importante mencionar que las características energéticas de la madera están determinadas por el clima, porque éste influye directamente en el contenido de humedad de la misma.

### 1.1.3. Técnicos

Las características y operación de los dispositivos utilizados en cada una de las actividades finales, por ejemplo la cocción de alimentos, se deben considerar en un análisis detallado de la demanda de leña; desde el tipo de estufa o dispositivo cuya eficiencia está influenciada por la transferencia de calor en sus diversas modalidades, hasta los utensilios empleados (ollas, sartenes, etc.). La interacción de estos elementos determina la eficiencia con la que se aprovecha el combustible en cada uso final.

Masera (1995) estimó que en las comunidades rurales el 81% de la población aún utiliza el fogón de tres piedras cuya eficiencia es del 17% (Dutt *et al.*, 1989). También es común el uso de los fogones tipo "U" y en menor cantidad se utilizan las llamadas chimeneas y las estufas eficientes de leña tipo lorena.

#### 1.1.4. Acceso y disponibilidad de combustibles

La cantidad, disponibilidad y acceso a los recursos energéticos son factores que determinan la cantidad de leña que se consume en cada región o comunidad. Los usuarios tienen la capacidad de adaptarse, hasta cierto punto, a la cantidad y calidad del combustible; esto es, cuando el combustible tiende a escasear los consumidores recurren, en algunos casos, al uso de biocombustibles de menor calidad (olotes de maíz, corteza de palmeras, desperdicios de aserraderos, entre otros) y sólo usan leña para las actividades principales.

El acceso físico a los recursos de biomasa está influenciado por: a) la ubicación, b) propiedad o tenencia de la tierra, y c) los sistemas de manejo del recurso.

- a) **Barreras de ubicación**, la localización de los recursos de biomasa respecto a las comunidades determina su acceso, los mayores inconvenientes son las condiciones del terreno (inclinación), ríos, áreas pantanosas y todas las barreras físicas que impiden la obtención del recurso. Además la distancia influye directamente en los costos, cuándo se comercializa, o en el tiempo empleado por los integrantes de la familia en la recolección.
- b) **Restricciones de tenencia**: en nuestro país existen diferentes modalidades de tenencia de la tierra, destacan: el ejido, la comunidad y la pequeña propiedad. No obstante en cada sistema existen políticas internas particulares que influyen fuertemente en la obtención del recurso, esto hace que en ocasiones el acceso al recurso sea difícil o nulo para las familias que no poseen terrenos con vegetación adecuada para aprovecharla como leña.
- c) **Sistemas de administración**: las restricciones derivadas de los sistemas de manejo son variadas y complejas, su impacto es muy específico para los habitantes de las localidades y afectan a las diferentes secciones de la comunidad de distinta forma. Las principales restricciones son:
  - i) Distintos derechos por género y rol.
  - ii) Diferencias por clases sociales.
  - iii) Otros usos de la biomasa (construcción, forraje, conservación ambiental, sombreado, hierbas medicinales, venta de madera, etc.)
  - iv) Especies de árboles (y otros tipos de biomasa) disponibles y el manejo de las diferentes especies.
  - v) Disponibilidad temporal (estacional) de los tipos de biomasa.

Para el análisis de la oferta generalmente se considera que el comportamiento de las fuentes de biomasa es elástico y muy diverso porque:

- i) Existe una gran variedad de fuentes de biomasa, destacan: bosques, cultivos agrícolas, árboles de ornato, árboles aislados (fuera de los bosques), arbustos, residuos agrícolas y estiércol.
- ii) Cuando el recurso tiende a escasear las personas pueden plantar árboles para contrarrestar el efecto.
- iii) Los patrones económicos y de uso del recurso varían incluso de una comunidad a otra, aunque pertenezcan a la misma zona ecológica<sup>2</sup>.
- iv) Los otros usos de la tierra (agricultura, ganadería, etc.) influyen en la oferta de leña, incrementándola o reduciéndola.

La oferta de combustibles sustitutos, gas en este caso, está restringida principalmente por la cuestión económica, pues aún la mayoría de las comunidades rurales observan una economía de subsistencia. También es determinante la ubicación geográfica y el tamaño de las localidades, porque influye en la infraestructura y vías de acceso.

Cuando los usuarios ya han adoptado el gas LP, es frecuente que se respalden empleándolo sólo para tareas energéticas pequeñas. De esta manera se disminuye el riesgo de escasez por mala distribución o incremento del precio.

#### 1.1.5. Análisis integrado

En resumen, podemos sintetizar la discusión anterior diciendo que la demanda de leña depende de:

- i) Las condiciones físicas de la comunidad (clima, disponibilidad física del recurso y del tipo de combustible usado).
- ii) Variables demográficas (tamaño del hogar y edad de los miembros de la familia).
- iii) Condiciones socioeconómicas (ingresos, acceso a los medios de transporte, acceso social a los recursos forestales).
- iv) Culturales como los hábitos y prácticas de cocinado (tipo de dispositivos usados para cocinar, costumbres alimenticias).
- v) Características técnicas de los dispositivos de uso final (eficiencia energética).
- vi) Disponibilidad de los combustibles sustitutos (precio, acceso).

---

<sup>2</sup> Zona ecológica se define como aquella porción de la superficie terrestre en donde se encuentra un conjunto de tipos de vegetación con afinidades climáticas similares (Toledo et al., 1989).

## 1.2. El estudio de la demanda de leña según la metodología por usos finales

La afirmación tradicional de que el crecimiento económico debía acompañarse de un crecimiento per cápita del uso de la energía, cedió su lugar a los conceptos de eficiencia y conservación a partir de la crisis petrolera de la década de los setenta (Sheinbaum, 1996). Surge entonces una nueva forma de considerar los problemas energéticos, el enfoque denominado por "usos finales" (Reddy, 1989) o de "abajo hacia arriba" (bottom-up) (Shipper *et al*, 1985). Este paradigma se basa en que *la energía es solo un medio para lograr un propósito, no un fin en sí mismo*. Esta metodología permite determinar la demanda energética a partir de las necesidades de su uso, es decir considerando las tareas energéticas finales.

De acuerdo con esta metodología, tenemos que el consumo total de energía  $E$  para determinado sector (residencial, industrial, transporte, etc.) es la suma de la energía proporcionada por cada fuente de energía  $f$ . En forma matemática esta relación puede expresarse como (Ecuación 1):

$$E = \sum_f E_f \quad (1)$$

Donde  $E_f$  es la energía suministrada por cada fuente  $f$  (leña, petróleo, electricidad, gas LP).

Ahora bien, la energía proporcionada por determinada fuente  $f$ , para diferentes usos finales  $i$  puede descomponerse como el producto de las variables consumo unitario de energía en cada uso final  $CU_i$ , y la saturación  $S_i$ , que indica el número de usuarios para casa uso final  $i$ . Matemáticamente se puede expresar como (Ecuación 2):

$$E_f = \sum_i S_i * CU_i \quad (2)$$

Donde  $i$  indica el uso final (cocción, iluminación, acondicionamiento de interiores, refrigeración),  $S_i$  es la saturación, es decir, el número de usuarios en cada uso final  $i$  y  $CU_i$  indica el consumo unitario de energía por familia o por persona en determinado tiempo para cada uso final  $i$ .

### 1.3. Modelo para determinar el consumo de leña

La metodología "por usos finales" ofrece la posibilidad de analizar la estructura y evolución de la demanda de leña. Como el objetivo de este trabajo es determinar la energía suministrada por la leña, a la cual denominaremos " $E_L$ ", nos concentraremos en esta fuente de energía. Siguiendo el enfoque de usos finales y a partir de la ecuación 2 podemos estimar la energía proporcionada por la leña. Esto es, mediante el producto del consumo unitario de leña para de cada uso final  $CU_i$  y la saturación de los usuarios de leña en cada uso final  $S_i$ . Es decir, la energía de la leña  $E_L$  está dada por la relación (Ecuación 3):

$$E_L = \sum_i S_i * CU_i \quad (3)$$

A su vez, cada una de estas variables, como mencionamos en la sección 1.1., está influenciada por diferentes aspectos, en forma matemática:

$$S_i = f(N, I, \$, Rg) \quad (4)$$

$$CU_i = f(PC, n, R, I, C, T, U, M, D, G) \quad (5)$$

Donde:

- N = Número de hogares.
- I = Ingreso por hogar.
- \$ = Costo del combustible sustituto o complementario (el primero en la escala de preferencias)
- Rg = Disponibilidad y rentabilidad del gas (o del combustible alternativo preferido).
  
- PC = Poder Calorífico de la leña.
- n = Tamaño y composición del hogar.
- R = Disponibilidad del recurso.
- I = Ingreso por hogar.
- C = Clima.
- T = Aspectos técnicos, como la eficiencia del dispositivo.
- U = Utensilios de cocción.
- M = Disponibilidad de tiempo de la mujer.
- D = Dieta (depende tanto de factores culturales como del nivel de ingresos).
- G = Acceso al gas (combustibles alternos).

Como se observa, S y CU dependen de un gran número de variables, esto hace que su determinación sea muy complicada; principalmente porque en nuestro país no existe suficiente información para cada una de ellas. Por lo tanto, la aplicación directa del modelo general para calcular la demanda de leña es muy difícil. Otro inconveniente es la dificultad para desagregar los consumos de cada uso final, porque comúnmente los usuarios emplean la energía para realizar dos o más actividades en forma simultánea (cocción de alimentos y calentamiento de agua, iluminación, calefacción, etc.); esto dificulta la determinación exacta de CU para cada tarea. Es necesario entonces simplificar el modelo sin perder de vista su alcance, en este estudio se pretende obtener un modelo basado en parámetros para los cuales existe información y que proporcione datos confiables y consistentes.

Estudios realizados en diversas regiones del mundo tanto en el ámbito rural como urbano, y en diferentes comunidades rurales de nuestro país muestran que la cocción de alimentos es el principal uso final en el sector residencial. Los censos generales de población (SIC<sup>3</sup>, 1963 y 1973; INEGI, 1983 y 1992) por su parte, reportan la cantidad de viviendas y habitantes que utilizan diferentes combustibles para cocinar (leña o carbón, petróleo, gas, electricidad). Partiendo de los datos anteriores, en este análisis se considera que la cantidad de leña usada en la cocción de alimentos y la saturación de usuarios reportada por los censos son indicadores fundamentales para estimar el consumo de leña en México.

Un modelo adecuado debe incluir el consumo unitario para los sectores rural y urbano, para los usuarios exclusivos de leña y los consumidores mixtos (leña y gas). Como se mencionó anteriormente existen diferencias en el consumo entre personas del medio rural y urbano y entre quienes utilizan sólo leña para cocinar y los que realizan un uso mixto de combustibles (Masera, 1995; Arias *et al.*, 1997, Masera *et al.*, 1997). Además no debe olvidarse que existe un gran número de las llamadas pequeñas industrias (PI) que en conjunto consumen una cantidad considerable de leña. Asimismo, para expresar el consumo en términos energéticos, se debe ajustar el CU por el contenido energético del combustible.

---

<sup>3</sup> En 1960 y 1970 el censo general de población fue elaborado por la Secretaría de Industria y Comercio, sin embargo por facilidad nos referiremos al INEGI para información censal.

En resumen, se puede lograr una estimación adecuada del consumo energético de leña para México, partiendo de las variables siguientes:

- i) La saturación de usuarios separada en urbanos y rurales, proporcionada por los censos de población.
- ii) El consumo unitario de leña en el sector doméstico tanto para los usuarios exclusivos de leña y como para los mixtos en ambos subsectores (rural y urbano).
- iii) El poder calorífico de la madera.
- iv) El consumo energético de las pequeñas industrias.

Por lo tanto, el modelo que se propone en este trabajo, para determinar el consumo energético de leña está dado por la relación:

$$E_L = PC * f * \sum_i \sum_j \sum_k (S_{ijk} * CU_{ijk}) + PI \quad (6)$$

Donde:

$E_L$  = Consumo energético de leña en PJ/año.

$S_{ijk}$  = Saturación para el uso final  $i$  (cocción, iluminación, etc) por tipo de usuario  $j$  (exclusivo de leña o mixto) y subsector  $k$  (rural o urbano).

$CU_{ijk}$  = Consumo Unitario de leña (kg/cap/día) para el uso final  $i$  por tipo de usuarios  $j$  y subsector  $k$ .

$PC$  = Poder Calorífico de la leña (MJ/kg).

$PI$  = Demanda de leña de la pequeña industria en PJ/año.

$f$  = Factor de conversión para expresar los resultados en PJ/año.

De esta manera se maneja la misma unidad energética que presenta el balance nacional de energía (BNE), para poder comparar los resultados.

## CAPITULO II

### MODELO PARA DETERMINAR EL CONSUMO DE LEÑA EN MÉXICO

En este trabajo nos concentramos en el análisis de los factores que determinan la demanda de leña, sin embargo es importante mencionar que existe una estrecha relación entre la oferta y la demanda. Sólo por mencionar un ejemplo, generalmente en los lugares donde disminuye el recurso, la demanda también decrece; es decir, el usuario se adapta a la disponibilidad de este.

En este capítulo se adapta el modelo de demanda de leña, desarrollado en la sección anterior, al sector residencial del país. Esta sección se divide en tres partes, en la primera se adecua el modelo de demanda de leña al caso de México, se analizan cada uno de los factores determinantes y sus valores característicos en el país. Posteriormente se destaca la importancia de la pequeña industria (PI) y la problemática para determinar su consumo de leña. Finalmente se asigna un valor representativo a cada variable.

#### 2.1. Determinación del modelo para estimar el consumo de leña en México

De acuerdo con la discusión del capítulo anterior y partiendo de la ecuación 6, se puede obtener la serie histórica del consumo de leña agregando la variable tiempo. Para determinar la energía consumida proveniente de la leña en el año  $t$ , se propone el siguiente modelo (Ecuación 7):

$$E_{Lt} = PCS * f * \sum_i \sum_j \sum_k (S_{ijkt} * CU_{ijkt}) + PI_t \quad (7)$$

Donde:

$E_{Lt}$  = consumo energético de leña para determinado año, en PJ/año.

$PCS$  = Poder calorífico de la leña (MJ/kg).

$S_{ijkt}$  = Saturación para el uso final  $i$ , por tipo de usuario  $j$ , y subsector  $k$  en el año  $t$ .

$CU_{ijkt}$  = Consumo Unitario de leña (kg/cap/día) para el uso final  $i$ , por tipo de usuario  $j$ , y subsector  $k$  en el año  $t$ .

$PI_t$  = Consumo energético de las pequeñas industrias en el año  $t$  (PJ/año).

$f$  = Factor de corrección para convertir a PJ/año.

Como se mencionó anteriormente, estas variables son función de diferentes factores, en las siguientes secciones definiremos cómo lograr un valor representativo para cada una de ellas.

### 2.1.1. Saturación "S"

La determinación del número de personas que utilizan leña para cocinar es complicada, en la mayoría de los estudios la saturación regional o nacional se determina mediante la aplicación de encuestas en lugares representativos.

En el país se han realizado estudios de caso y encuestas para estimar el consumo de leña desde el nivel comunitario y regional hasta el ámbito nacional en diferentes épocas (ver siguiente sección). Los estudios de caso realizados por diversos organismos e instituciones (IIE, 1984 y 1986; GIRA A. C., 1986 y 1990; IE A. C., 1994; PAIR-UNAM, 1995), principalmente en comunidades rurales pequeñas con diferentes condiciones económicas, sociales, de recursos, culturales, técnicas, climáticas, etc.; muestran que la mayoría de los habitantes rurales usan leña para cocinar, ya sea en forma exclusiva o complementándola con el uso de petróleo o gas LP.

En el grupo de las encuestas destacan las hechas por CECODES (1987), IMP (1987) y SEMIP (1987). Este último estudio se realizó en más de cien comunidades y una de sus mayores aportaciones fue la regionalización del país en zonas homogéneas; esto permitió conocer con mayor detalle el comportamiento de los consumidores de leña.

Como se ha enfatizado en este trabajo, y antes de determinar el número de usuarios que utilizan leña como combustible, la metodología de "usos finales" indica que necesitamos conocer la cantidad de energía que demanda cada uso final: cocción de alimentos, iluminación, acondicionamiento de interiores, calentamiento de agua, etc. En la mayoría de los estudios comunitarios realizados en México se obtuvieron consumos agregados de leña (kg/fam/mes, kg/cap/día, m<sup>3</sup>/fam/año, etc). Algunos autores como Masera *et al.*, (1987), Masera (1993 y 1995), Arias (1993) y Masera *et al.*, (1997) proporcionan la saturación de usuarios en cada uso final - cocción de alimentos, calentamiento de agua, iluminación, etc.- (Tabla 3).

**Tabla 3. Principales usos finales de la leña  
(% de usuarios)**

| Región                    | Cocción de alimentos | Hervir agua | Calentar Agua | Calefacción | Baño de vapor | Otros |
|---------------------------|----------------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------|
| Lago de Pátzcuaro, Mich.  | 92                   | 32          | 57            | 8           | 0             | 8     |
| Tlapa de Comonfort, Guer. | 99                   | 21          | 14            | 10          | 1             | 10    |
| Los Altos Zimatlán, Oax.  | 100                  | 89          | 79            | 22          | 8             | 1*    |
| Mpio. de Alcozauca, Guer. | 94                   | n.d.        | n.d.          | n.d.        | 5             | 1     |

Notas: La suma de estos usos finales es más de 100% porque se realizan varias actividades al mismo tiempo. \*Se refiere a iluminación. Fuente: Masera *et al.*, (1997) y Arias (1993).

Los estudios mostrados en la Tabla 3, coinciden en que el principal uso de la leña es la cocción de alimentos, el porcentaje de usuarios que utiliza este energético para la cocción oscila entre el 90% y el 100%. Los otros usos que pueden llamarse secundarios, por ejemplo: el calentamiento de agua, iluminación, acondicionamiento de interiores, etc, comúnmente se realizan al mismo tiempo y su demanda es pequeña comparada con la cocción.

En el ámbito municipal, Arias (1993) proporciona valores de saturación para diversas actividades (Tabla 4), en comunidades con diferentes condiciones económicas, culturales y ambientales y de organización social, en los que se observa nuevamente que la cocción de alimentos es el uso final más importante. A partir de esta información asumiremos que el consumo de los usuarios de leña es igual a la leña usada para la cocción de alimentos.

**Tabla 4. Saturación municipal por usos finales  
(% de usuarios)**

| Comunidad    | Cocción de Alimentos (%) | Baño de Vapor (%) | Iluminación (%) |
|--------------|--------------------------|-------------------|-----------------|
| Amapilca     | 96                       | 4                 | 0               |
| Mesitas      | 97                       | 2                 | 1               |
| Cruz Verde   | 84                       | 16                | 0               |
| Ixcuinatoyac | 99                       | 1                 | 1               |
| Tlahuapa     | 96                       | 4                 | 1               |
| Prom. Mpal.  | 96                       | 3                 | 1               |

Notas: El promedio municipal es un valor ponderado respecto a la población usuaria de leña en cada comunidad. Adaptado de Arias (1993).

El INEGI por su parte proporciona el número de usuarios que utilizan leña como energético principal para cocinar. Sin embargo, no se conoce el número de viviendas y usuarios que utilizan dos combustibles en forma simultánea (leña y petróleo o leña y gas), tanto en el área rural como en la urbana. Ante la falta de información directa, en este análisis se estimó el número de habitantes que realizan un uso mixto de combustibles a partir de datos proporcionados por estudios de caso realizados en diferentes partes del país.

Para este estudio la saturación de usuarios se consideró a tres niveles:

- a) Saturación usuarios exclusivos de leña y mixtos (leña y gas).
- b) Saturación rural y urbana.
- c) Evolución temporal de la saturación de usuarios exclusivos de leña y mixtos.

**a) Saturación usuarios exclusivos de leña y mixtos (leña y gas)**

La población que usa exclusivamente leña para cocinar tanto en las áreas rurales como urbanas, las proporciona el censo general de población (INEGI 1963, 1973, 1983 y 1992). Sin embargo, como ya se mencionó anteriormente se carece de información sobre los usuarios mixtos, por lo que su estimación se realizó a partir de datos reportados por estudios realizados en varias comunidades del país. Las Tablas 5 y 5a muestran la saturación de los usuarios exclusivos de leña, usuarios mixtos (leña y gas) y los que sólo utilizan gas, tanto para las áreas rurales como las urbanas (Matera *et al.*, 1987; Matera y Navia, 1997; y Matera *et al.*, 1997). Matera *et al.*, (1997) obtuvieron la saturación de los combustibles usados para cocinar alimentos por tamaño de localidad para tres micro regiones en los estados de Guerrero, Michoacán y Oaxaca. La saturación de los usuarios mixtos urbanos oscilan entre el 24 y 73% (Tabla 5a y Figura 2).

**Tabla 5. Saturación de combustibles en áreas rurales  
(% de familias)**

| Comunidad Rural           | Leña (%) | Leña y gas (%) | Gas (%) |
|---------------------------|----------|----------------|---------|
| Cheranátzicurin, Mich.    | 80       | 20             | 0       |
| Jarácuaro, Mich.          | 57       | 43             | 0       |
| Huáncito, Mich.           | 73       | 27             | 0       |
| Nocutzepo, Michoacán.     | 28       | 71             | 1       |
| Urandén de Morelos, Mich. | 60       | 40             | 0       |
| Tenango, Guerrero         | 100      | 0              | 0       |
| Ahuatepec, Guerrero       | 79       | 21             | 0       |
| San Antonino, Oaxaca      | 84       | 16             | 0       |
| San Miguel, Oaxaca        | 95       | 5              | 0       |
| San Mateo, Oaxaca         | 100      | 0              | 0       |
| Barranca Fierro, Oaxaca   | 100      | 0              | 0       |
| Jicacal, Veracruz         | 89       | 11             | 0       |

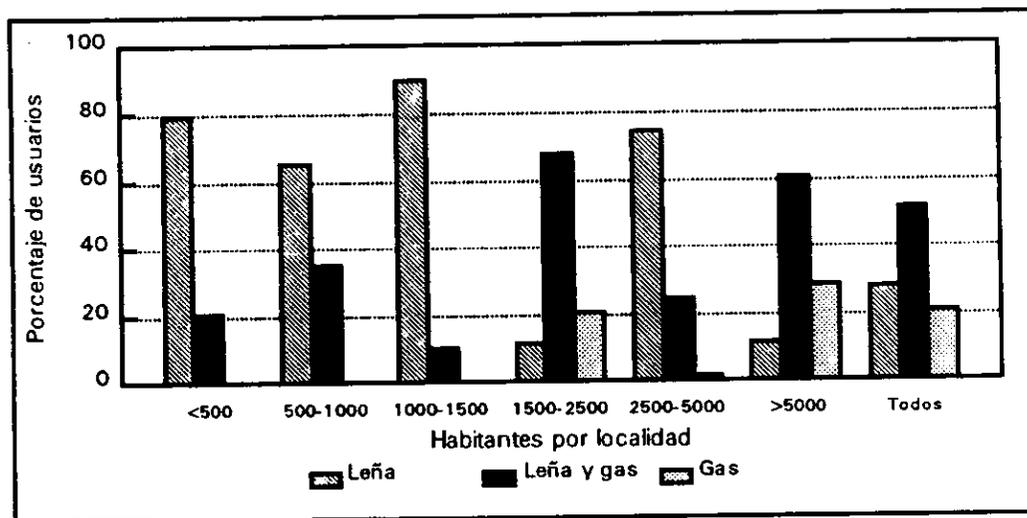
Notas: La información de Cheranátzicurin se obtuvo en 1987, la de Jarácuaro y Huáncito en 1993. Los datos de Jarácuaro provienen de un censo comunitario, para Huáncito se tomó una muestra de 125 hogares. Sólo existe un usuario exclusivo de gas en cada una de estas comunidades. El resto de los datos son de 1997. Fuente: Masera *et al.*, (1987), Masera y Navia (1997); Masera *et al.*, (1997) y Arias *et al.*, (2000).

**Tabla 5a. Saturación de combustibles en áreas urbanas  
(% de familias)**

| Localidad Urbana                 | Leña (%) | Leña y gas (%) | Gas (%) |
|----------------------------------|----------|----------------|---------|
| Sta. Fe de la Laguna, Michoacán. | 75       | 24             | 1       |
| Sn. Jerónimo, Mich.              | 10       | 70             | 20      |
| Tlapa de Comonfort, Guerrero     | 11       | 61             | 28      |
| Sta. Cruz Mixtepec, Oaxaca       | 25       | 73             | 2       |
| Pajapan, Veracruz                | 74       | 24             | 2       |

Notas: Tomado de Masera *et al.*, (1997) y Arias *et al.*, (2000).

**Figura 2. Saturación de combustibles usados para cocinar por tamaño de localidad (1997)**



Fuente: Masera *et al.*, (1997).

Para estimar la saturación de usuarios mixtos rurales se tomó como base la saturación rural regional generada por el reprocesamiento de las encuestas de la SEMIP (Masera, 1993). La saturación mixta rural se determinó considerando que la diferencia entre la saturación SEMIP y la reportada por el INEGI son usuarios que realizan un uso mixto de combustibles<sup>1</sup>.

Para el caso de los usuarios mixtos urbanos, ante la carencia de información detallada, la estimación se efectuó considerando los siguientes aspectos:

- i) Los usuarios de leña en el área urbana son generalmente personas que han emigrado de las comunidades urbanas, con bajos ingresos y un fuerte arraigo a las formas tradicionales de preparar los alimentos.
- ii) Ante el constante incremento en el precio del gas LP, la leña se utiliza para satisfacer algunas necesidades básicas (cocción de alimentos básicos, calentamiento de agua, etc.).
- iii) Se asume, con base en los estudios de caso, (Tabla 5a) en los cuales se reporta que un porcentaje adicional a los usuarios exclusivos de leña realiza un uso dual de leña y gas LP; que el uso dual está extendido a nivel nacional en este subsector, y
- iv) Se consideró que los usuarios urbanos exclusivos de leña han experimentado un crecimiento lineal (Tabla 6).

<sup>1</sup> Masera (1995) y Sheinbaum (1996) hacen la misma suposición para los usuarios mixtos rurales.

Tabla 6. Consideraciones para la saturación de usuarios de leña por año

| Año  | Usuarios exclusivos rurales de leña                    | Usuarios exclusivos urbanos de leña                       | Usuarios mixtos rurales | Usuarios mixtos urbanos* |
|------|--|---|-------------------------|--------------------------|
| 1960 | Saturación rural de leña es igual a la Población rural | Población total de leña menos la Saturación rural de leña | $S_{SEMIP} - S_{INEGI}$ | $F_{mu60}$               |
| 1970 | Censo  | Censo   | $S_{SEMIP} - S_{INEGI}$ | $F_{mu70}$               |
| 1980 | Censo  | Censo   | $S_{SEMIP} - S_{INEGI}$ | $F_{mu80}$               |
| 1990 | Censo  | Censo   | $S_{SEMIP} - S_{INEGI}$ | $F_{mu90}$               |

Notas: \*El porcentaje de usuarios mixtos urbanos, es adicional a los usuarios exclusivos de leña urbana.  $S_{SEMIP}$  = Saturación regional reportada por la SEMIP (Masera, 1993); y  $S_{INEGI}$  = Saturación reportada por el INEGI en cada década;  $F_{mu}$  = factor de uso mixto urbano.

#### b) Saturación rural y urbana

Esta saturación indica la cantidad de personas que usan leña en las zonas rurales y urbanas. El censo general de población (INEGI 1963, 1973, 1983 y 1992) proporciona este dato desde 1970. Sin embargo, para 1960 se carecía de información, por lo que se consideró que los usuarios de leña son preferentemente rurales, siendo los usuarios urbanos la diferencia entre los usuarios totales de leña y la población rural (Tabla 6).

### c) Saturación anual de usuarios de leña

Para la población rural se ajustó la saturación regional obtenida por la SEMIP para 1987 (Masera, 1993). Se supuso una saturación del 100% para 1960 y para las décadas posteriores se calculó una tasa de cambio hasta 1987. Las saturaciones regionales y estatales resultantes se muestran en las siguientes Tablas (Tabla 7 y 8).

**Tabla 7. Determinación de la saturación rural de leña por región  
(% de usuarios)**

| Región               | 1960 (%) | Tasa de cambio (%) | 1970 (%) | 1980 (%) | 1987 (%) | 1990 (%) | 2000 (%) |
|----------------------|----------|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Baja California      | 100      | 1.25               | 88       | 75       | 66       | 63       | 50       |
| Pacífico norte       | 100      | 1.10               | 89       | 78       | 70       | 67       | 56       |
| Norte                | 100      | 0.24               | 98       | 95       | 94       | 93       | 90       |
| Centro norte         | 100      | 0.71               | 93       | 86       | 81       | 79       | 72       |
| Golfo norte          | 100      | 1.09               | 89       | 78       | 71       | 67       | 56       |
| Central              | 100      | 0.14               | 99       | 97       | 96       | 96       | 95       |
| Pacífico centro      | 100      | 0.47               | 95       | 91       | 87       | 86       | 81       |
| Pacífico sur         | 100      | 0.09               | 99       | 98       | 98       | 97       | 96       |
| Golfo centro         | 100      | 0.30               | 97       | 94       | 92       | 91       | 88       |
| Península de Yucatán | 100      | 0.13               | 99       | 97       | 97       | 96       | 95       |

Notas: Para 1960 no existía la división de los usuarios de leña en rurales y urbanos, por lo que se consideró que la población rural usaba preferentemente leña para la cocción de sus alimentos. La columna en gris muestra los datos obtenidos por la SEMIP. Elaboración propia a partir de Masera (1993) y SEMIP (1988).

Tabla 8. Saturación estatal por décadas 1960-2000

| Estado                | 1960 (%) | 1970 (%) | 1980 (%) | 1987 (%) | 1990 (%) | 2000 (%) |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Aguascalientes        | 100      | 95       | 91       | 87       | 86       | 81       |
| Baja California Norte | 100      | 88       | 75       | 66       | 63       | 50       |
| Baja California Sur   | 100      | 88       | 75       | 66       | 63       | 50       |
| Campeche              | 100      | 99       | 97       | 97       | 96       | 95       |
| Coahuila              | 100      | 98       | 95       | 94       | 93       | 90       |
| Colima                | 100      | 95       | 91       | 87       | 86       | 81       |
| Chiapas               | 100      | 99       | 98       | 98       | 97       | 96       |
| Chihuahua             | 100      | 98       | 95       | 94       | 93       | 90       |
| Distrito Federal      | 100      | 99       | 97       | 96       | 96       | 95       |
| Durango               | 100      | 98       | 95       | 94       | 93       | 90       |
| Guanajuato            | 100      | 95       | 91       | 87       | 86       | 81       |
| Guerrero              | 100      | 99       | 98       | 98       | 97       | 96       |
| Hidalgo               | 100      | 99       | 97       | 96       | 96       | 95       |
| Jalisco               | 100      | 95       | 91       | 87       | 86       | 81       |
| Estado de México      | 100      | 99       | 97       | 96       | 96       | 95       |
| Michoacán             | 100      | 95       | 91       | 87       | 86       | 81       |
| Morelos               | 100      | 99       | 97       | 96       | 96       | 95       |
| Nayarit               | 100      | 89       | 78       | 70       | 67       | 56       |
| Nuevo León            | 100      | 89       | 78       | 71       | 67       | 56       |
| Oaxaca                | 100      | 99       | 98       | 98       | 97       | 96       |
| Puebla                | 100      | 99       | 97       | 96       | 96       | 95       |
| Querétaro             | 100      | 99       | 97       | 96       | 96       | 95       |
| Quintana Roo          | 100      | 99       | 97       | 97       | 96       | 95       |
| San Luis Potosí       | 100      | 93       | 86       | 81       | 79       | 72       |
| Sinaloa               | 100      | 89       | 78       | 70       | 67       | 56       |
| Sonora                | 100      | 89       | 78       | 70       | 67       | 56       |
| Tabasco               | 100      | 97       | 94       | 92       | 91       | 88       |
| Tamaulipas            | 100      | 89       | 78       | 71       | 67       | 56       |
| Tlaxcala              | 100      | 99       | 97       | 96       | 96       | 95       |
| Veracruz              | 100      | 97       | 94       | 92       | 91       | 88       |
| Yucatán               | 100      | 99       | 97       | 97       | 96       | 95       |
| Zacatecas             | 100      | 93       | 86       | 81       | 79       | 72       |
| Nacional              | 100      | 95       | 91       | 88       | 86       | 82       |

Nota: Elaboración propia a partir de Masera (1993) y SEMIP (1988).

### 2.1.2. Consumo Unitario "CU"

Como se mencionó en el capítulo anterior (sección 1.3) el CU es función de un gran número de variables que dificultan su determinación precisa. En general no existe uniformidad en los métodos y criterios para medir el consumo de leña. En nuestro país los estudios efectuados han tenido distintos propósitos por lo que reportan los consumos en diferentes unidades.

En la década de los ochenta el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE, 1984 y 1986) efectuó varios estudios, los resultados se proporcionan en términos energéticos y volumétricos (toneladas de madera). Masera *et al.*, 1987 reportan los consumos en kg de leña por actividad y kg de leña por producto; otros análisis generaron valores per cápita, por familia, por vivienda y por comunidad. Debemos mencionar además, que dichos estudios se realizaron en diferentes años y la mayoría de ellos no profundiza en el estado de los recursos, por lo que es difícil determinar la influencia de esta variable en el consumo de leña.

En el ámbito municipal, Arias (1993) realizó un estudio en varias comunidades del municipio de Alcozauca, estado de Guerrero. Estas poblaciones poseen diferentes condiciones económicas, culturales y ambientales, además su organización social es distinta. La autora concluye que los consumos reportados pueden aplicarse a los análisis municipales como una primera aproximación, sin embargo, destaca que esta situación no es totalmente representativa porque en varias comunidades existe un gran número de pequeñas industrias (PI); y además, la cabecera municipal presenta condiciones diferentes al resto de las comunidades.

Las encuestas y estudios de caso efectuados en el país, en diferentes comunidades y épocas, muestran que el CU oscila entre 0.9 y 5.8 kg/cap/día. Esta gran variación se debe principalmente a las imprecisiones en la determinación de los consumos y en gran medida a que los usuarios se adaptan a la cantidad de recurso disponible (Masera, 1993). Los estudios más confiables reportan valores entre 0.9 y 3.7 kg/cap/día (Tabla 9 y 10).

A pesar de que existen datos de CU para diferentes regiones del país, aún no se cuenta con una base de datos suficiente para desagregar el CU por estado o por tipo de bosque, por ejemplo. Para este análisis se incluyeron los valores de CU que oscilan en el rango 0.9 a 3.7kg/cap/día (Tabla 10). Se considera que el promedio de los estudios de caso es un valor confiable para tomarlo como CU promedio nacional. Asimismo se supuso que el consumo unitario permanece constante en el tiempo. Para este estudio se utilizó un CU nacional igual a 2.1 kg/cap/día para los usuarios exclusivos de leña.

**Tabla 9. Consumo unitario de leña para uso doméstico en México  
ENCUESTAS**

| Lugar o región de estudio                | Consumo (kg/cáp/día) | Observaciones   |
|--|----------------------|---|
| <b>Usuarios exclusivo leña</b>           |                      |   |
| <b>SURESTE</b>                           |                      |   |
| Guerrero y Oaxaca (Macro región Sur)     | 2.8                  | IIE (1986) Grupos de bajos ingresos, sin mediciones directas.   |
| Mixteca Oaxaqueña                        | 2.6                  | CECODES (1987) Encuestas.   |
| <b>CENTRO</b>                            |                      |   |
| Noreste de la Sierra de Puebla           | 3.0<br>(2.0-4.0)     | SARH (1981) Medición directa  |
| Jolalpan, Puebla.                        | 2.2<br>(2.1-2.4)     | Sánchez y Domínguez (1989) Entrevistas.   |
| <b>NORESTE</b>                           |                      |   |
| Altiplano potosino, San Luis Potosí      | 1.2                  | CIFA San Luis Potosí (1988-1989) Cuestionarios y entrevista   |
| <b>NACIONAL</b>                          |                      |   |
| Promedio Nacional                        | 2.5<br>(2.4-2.5)     | SEMIP (1988) No se hizo medición directa  |
| Promedio Nacional                        | 2.4<br>(1.1-3.7)     | IMP (1987) Encuestas en 1985 y 1986. Se estimó a partir de los estratos X-XV, (población rural), sin medición directa |
| <b>Usuarios mixtos (leña y gas)</b>      |                      |   |
| <b>NACIONAL</b>                          |                      |   |
| Promedio Nacional                        | 1.7<br>(1.7-1.8)     | SEMIP (1988), sin medición directa  |
| <b>PROMEDIO GENERAL DE LAS ENCUESTAS</b> |                      |   |
| Promedio general exclusivo leña          | 2.4                  |   |
| Promedio general mixtos                  | 1.7                  |   |
| Ahorro promedio mixtos                   | 29%                  |   |

Notas: Los valores entre paréntesis indican el rango de consumo.

**Tabla 10a. Consumo unitario de leña para uso doméstico en México  
ESTUDIOS DE CASO**

| Lugar o región de estudio              | Consumo (kg/cáp/día) | Observaciones  |
|--|----------------------|--|
| <b>Usuarios exclusivo leña</b>         |                      |  |
| <b>CENTRO</b>                          |                      |  |
| Amatlán Morelos.                       | 1.3                  | IIE (1983) Medición diaria durante una semana                                |
| Tlaquitenango, Morelos.                | 2.4<br>(2.2-2.6)     | Álvarez (1991) Medición en 18 comunidades.                                   |
| Purificación Tepetitla, Edo. de México | 2.1                  | Evans (1984) Sin medición directa  |
| Sta. Catarina, Edo. de México          | 2.3                  | Evans (1984) Sin medición directa  |
| Sn. Andrés Timilpan, Edo. de México.   | 1.4                  | Camacho (1985) Medición directa  |
| Manguani, Hidalgo.                     | 1.4                  | IIE (1984). Medición directa   |
| San Juan Jaripeo, Gto.                 | 1.1                  | IIE (1984). Medición directa   |
| La Guacamaya Michoacán.                | 3.1                  | Grupo Energética (1984) Medición diaria durante una semana.                  |
| Charanatzicurin, Mich. (a)             | 1.7                  | Masera <i>et al.</i> , (1987) Medición diaria por una semana durante un año. |
| Jarácuaro, Michoacán (a)               | 2.0                  | Masera y Navia (1997) Medición diaria durante una semana.                    |
| Huáncito, Michoacán (a)                | 1.8                  | Masera y Navia (1997) Medición diaria durante una semana.                    |
| Lago de Pátzcuaro, Michoacán           | 2.1                  | Masera <i>et al.</i> , (1997b) Medición diaria durante una semana.           |
| Nocutzepo, Michoacán                   | 2.4                  | Masera <i>et al.</i> , (1997b) Medición diaria durante una semana.           |
| Urandén, Michoacán                     | 2.1                  | Masera <i>et al.</i> , (1997b) Medición diaria durante una semana.           |
| Sn. Jerónimo, Michoacán                | 3.0                  | Masera <i>et al.</i> , (1997b) Medición diaria durante una semana.           |
| Sta. Fe, Michoacán                     | 2.3                  | Masera <i>et al.</i> , (1997b) Medición diaria durante una semana.           |
| <b>NORESTE</b>                         |                      |  |
| El Salado, Sn. Luis Potosí.            | 2.4                  | IIE (1984) Medición directa  |
| <b>GOLFO DE MÉXICO</b>                 |                      |  |
| Tixcumuy, Campeche                     | 1.1                  | IIE (1984) Medición directa  |
| Tupilco, Tabasco.                      | 1.2                  | IIE (1984) Medición directa  |
| Zozocolco de Hidalgo, Ver.             | 2.0                  | Martínez (1992) Medición directa   |
| Las Cruces, Veracruz                   | 1.8                  | Purata (1999) Medición directa   |
| Sn. Juan Otontepec, Ver.               | 2.0                  | Purata, (1999) Medición directa  |

**Tabla 10b. Consumo unitario de leña para uso doméstico en México  
ESTUDIOS DE CASO (continuación)**

| Lugar o región de estudio                    | Consumo (kg/cáp/día) | Observaciones   |
|--|----------------------|---|
| <b>Usuarios exclusivo leña</b>               |                      |   |
| <b>GOLFO DE MÉXICO</b>                       |                      |   |
| Pajapan, Veracruz.                           | 1.6                  | Arias <i>et al.</i> , (2000) Medición directa                                   |
| Jicacal, Veracruz                            | 1.6                  | Arias <i>et al.</i> , (2000) Medición directa                                   |
| <b>PENÍNSULA YUCATÁN</b>                     |                      |   |
| X-uilub, Yucatán.                            | 1.9                  | Sánchez (1991) Medición directa durante una semana por un año.                  |
| <b>SURESTE</b>                               |                      |   |
| <b>Oaxaca y Guerrero</b>                     |                      |   |
| SIERRA (tres comunidades)                    | 2.8                  | Martínez (1987) IIE, se reporta el consumo para la población con bajos ingresos |
| VALLE (tres comunidades)                     | 2.7                  | Martínez (1987) IIE, se reporta el consumo para la población con bajos ingresos |
| COSTA (dos comunidades)                      | 2.1                  | Martínez (1987) IIE, se reporta el consumo para la población con bajos ingresos |
| Sn. Jerónimo Tulijá, Chiapas.                | 3.7                  | IIE (1983) Medición diaria durante una semana                                   |
| Chacahua, Oaxaca                             | 2.7                  | IIE (1984), medición directa  |
| Los altos Mixtepec, Oax. (Cinco comunidades) | 2.6                  | Masera <i>et al.</i> , (1997a) Medición directa diaria durante una semana       |
| Sinahuá, Guerrero.                           | 2.4                  | IIE (1984) Medición directa   |
| Tlapa de Comonfort, Guerrero (d)             | 1.8                  | Masera <i>et al.</i> , (1997a) Medición directa diaria durante una semana       |
| Ahuatepec, Guerrero.                         | 1.9                  | Masera <i>et al.</i> , (1997a) Medición directa diaria durante una semana.      |
| Tenango, Guerrero.                           | 3.0                  | Masera <i>et al.</i> , (1997a) Medición directa diaria durante una semana       |
| Tlapa, Guerrero.                             | 0.9                  | Masera <i>et al.</i> , (1997a) Medición directa diaria durante una semana       |
| Amapilca, Guerrero.                          | 3.0                  | Arias (1993) Medición diaria por un periodo de dos semanas.                     |
| Mesitas, Guerrero.                           | 2.6                  | Arias (1993) Medición diaria por un periodo de dos semanas.                     |
| Cruz verde, Guerrero.                        | 1.9                  | Arias (1993) Medición diaria por un periodo de dos semanas.                     |
| Ixcuinatoyac, Guerrero.                      | 3.3                  | Arias (1993) Medición diaria por un periodo de dos semanas.                     |
| Tlahuapa, Guerrero.                          | 2.6                  | Arias (1993) Medición diaria por un periodo de dos semanas.                     |
| Sn. Nicolás Zoyatlán, Guerrero.              | 1.9                  | Arias (1995a) Medición diaria por un periodo de dos semanas.                    |

**Tabla 10c. Consumo unitario de leña para uso doméstico en México  
ESTUDIOS DE CASO (continuación)**

| Lugar o región de estudio                | Consumo (kg/cáp/día) | Observaciones   |
|--|----------------------|---|
| <b>Usuarios mixtos (leña y gas)</b>      |                      |   |
| <b>CENTRO</b>                            |                      |   |
| Jarácuaro, Michoacán.                    | 1.3<br>[35%]         | Masera y Navia (1997) Medición directa diaria durante una semana          |
| Huáncito, Michoacán.                     | 1.7<br>[6%]          | Masera y Navia (1997) Medición directa diaria durante una semana          |
| Lago de Pátzcuaro, Michoacán             | 1.8<br>[14%]         | Masera <i>et al.</i> , (1997b) Medición directa diaria durante una semana |
| Nocutzepo, Michoacán.                    | 1.4<br>[41%]         | Masera <i>et al.</i> , (1997b) Medición directa diaria durante una semana |
| Urandén, Michoacán.                      | 1.2<br>[41%]         | Masera <i>et al.</i> , (1997b) Medición directa diaria durante una semana |
| Sn. Jerónimo, Michoacán.                 | 2.7<br>[9%]          | Masera <i>et al.</i> , (1997b) Medición directa diaria durante una semana |
| Sta. Fe, Michoacán.                      | 2.3<br>[0%]          | Masera <i>et al.</i> , (1997b) Medición directa diaria durante una semana |
| <b>GOLFO DE MÉXICO</b>                   |                      |   |
| Jicacal, Veracruz.                       | 1.3<br>[19%]         | Arias <i>et al.</i> , (2000) ) Medición directa                           |
| <b>SURESTE</b>                           |                      |   |
| Región de Tlapa de Comonfort, Guerrero.  | 1.6<br>[11.1%]       | Masera <i>et al.</i> , (1997a) Medición directa diaria durante una semana |
| Tlapa, Guerrero.                         | 0.9<br>[0.0%]        | Masera <i>et al.</i> , (1997a) Medición directa diaria durante una semana |
| Los altos Mixtepec, Oaxaca.              | 2.6<br>[0.0%]        | Masera <i>et al.</i> , (1997a) Medición directa diaria durante una semana |
| <b>PROMEDIO GENERAL DE LAS ENCUESTAS</b> |                      |   |
| Promedio general exclusivo leña          | 2.1                  |   |
| Promedio general mixtos                  | 1.8                  |   |
| Ahorro promedio mixtos                   | 16%                  |   |

Notas: (a) los valores se expresan en adultos estándar. (b) Incluye cocción de alimentos y calentamiento de agua. (c) Sólo incluye cocción de alimentos. (d) consumo según día promedio y prueba de funcionamiento de la cocina (PFC). El número entre corchetes indica el porcentaje de ahorro de leña por el uso mixto de gas LP.

### a) Sustitución de combustibles

La sustitución de combustibles es un proceso que influye en la evolución de la demanda de leña. En el sector doméstico la sustitución más importante se presenta en la cocción de alimentos (leña por gas). Este proceso se ha desarrollado mayormente en las áreas urbanas y semiurbanas, principalmente porque los ingresos económicos de los usuarios permiten la adquisición de tecnologías y energéticos "modernos", la distribución es segura, son combustibles limpios en el uso final, fáciles de usar y sobre todo porque disminuyen el tiempo de cocinado. En las zonas rurales la sustitución ha evolucionado muy lentamente, los factores que la han limitado son diversos: el principal es el económico (aún la economía rural es fundamentalmente de subsistencia), la mala distribución de los combustibles modernos y las cuestiones culturales (preferencias por el sabor de alimentos cocinados con leña).

En los lugares donde se ha efectuado la sustitución, el proceso ha sido parcial porque los usuarios se respaldan con la posibilidad de emplear varios combustibles en caso de que alguno no se adapte a las necesidades (técnicas o culturales) o no se tenga acceso a él por cuestiones económicas o por mala distribución.

En el país se han efectuado pocos estudios de sustitución de combustibles y de estos la mayoría se han realizado en las áreas rurales; por este motivo es difícil asignar un CU para los sectores urbano o rural de forma confiable. Además, la clasificación de rural y urbano que hace el INEGI<sup>2</sup> no es del todo adecuada para nuestros propósitos. Existen lugares con más de 50 mil habitantes, por ejemplo, Pátzcuaro, Mich., donde el uso de leña es común (Maserá *et al.*, 1997).

Los estudios de caso detallados muestran que el ahorro de leña por el uso mixto de leña y gas oscilan entre 9% y 41%, con un promedio de 16% (Tabla 10c). Para este análisis el consumo de los usuarios mixtos se obtuvo a partir del ahorro promedio, es decir, se calculó el consumo de leña si en promedio los usuarios mixtos disminuyen su consumo de leña un 16%. De esta relación, se obtiene un CU nacional igual a 1.8 kg/cap/día para los usuarios mixtos de leña. Como en el caso de los usuarios exclusivos de leña, este valor se asume constante en el tiempo.

Para este estudio se asignan diferentes consumos de leña a los usuarios exclusivos de leña y los que realizan un uso mixto de combustibles; por lo tanto, CU y S se expresan en función del tipo de usuario: exclusivo de leña

---

<sup>2</sup> Considera que la población rural tiene menos de 2,500 habitantes.

"EL" y mixto "M" (leña y gas). Para los EL se determinó un consumo de leña igual a 2.1 kg/cap/día y para los M un consumo de 1.8 kg/cap/día.

### 2.1.3. Poder calorífico "PC"

El poder calorífico indica la cantidad de energía que puede liberar la madera y es función directa del contenido de humedad. Típicamente éste último es del 40-45% de humedad para la madera verde o fresca (recién cortada). Estudios internacionales reportan valores para el poder calorífico que oscilan entre 18 MJ/kg y 22 MJ/kg para varios tipos de madera seca (Harker et al., 1984; Baldwin, 1986; Smith, 1987); los valores obtenidos son muy similares para las maderas suaves y duras. Sin embargo, la leña que usan los consumidores sólo alcanza a secarse hasta la humedad del ambiente, por lo que el PC de la leña normalmente es menor a los valores generados para madera secada en horno. Adicionalmente en las estaciones de lluvia, la leña presenta un contenido de humedad mayor que en tiempo de secas.

Los análisis desarrollados en nuestro país, que también son pocos, muestran valores que oscilan desde 14 MJ/kg hasta 23 MJ/kg (Tabla 11). El contenido de humedad para leña en condiciones de uso alcanza un promedio del 22% de humedad (ver Apéndice 2).

Tabla 11. Contenido energético de la madera usada como combustible

| Lugar   | Contenido de humedad (%) | Contenido energético de la leña (MJ/kg) |          |
|---|--------------------------|---|----------|
|   |                          | Rango                                   | Promedio |
| Cheranátzicurin, Michoacán <sup>a</sup> .       | 20                       | 19                                      | 19       |
| Alto Balsas, Puebla <sup>b</sup> .              | 8 - 28                   | 17 - 20                                 | 19       |
| Cuetzalán, Puebla <sup>c</sup> (2 comunidades). | n.d.                     | 14 - 23                                 | 17       |
| Pajapan, Veracruz <sup>d</sup>                  | 21 - 26                  | 15 - 17                                 | 15       |

Notas: Los valores se refieren al poder calorífico superior. <sup>a</sup>Calculado mediante una ecuación generada del comportamiento estadístico de 80 muestras. <sup>b</sup>Son valores promedio para 12 especies con 10 muestras cada una. <sup>c</sup>Promedio de 18 especies <sup>d</sup>Promedio de 81 muestras para 8 especies, el PC se determinó aplicando la ecuación 8. Adaptado de: Almeida (1990); Moreno, et al., (1990), Farfán, et al., (1990) y Masera (1993).

La dependencia encargada de la elaboración del Balance Nacional de Energía (SEMIP y SE actualmente) utiliza el poder calorífico superior ( $PC_s$ ) de los combustibles. Estas dependencias han utilizado diferentes  $PC_s$  de la leña, a partir de 1965 y hasta 1993 se le asignó un valor de 4,400 kcal/kg (18.42 MJ/kg); posteriormente se usó un  $PC_s$  de 3,460 kcal/kg (14.48 MJ/kg). Finalmente, en 1997 la SE efectuó una corrección a toda la serie (1965-1997) en la que empleó un  $PC_s$  igual a 14.44 MJ/kg.

En general podemos determinar el  $PC_s$  de la leña mediante la Ecuación 8:

$$PC_s = Ho(1 - Wbh) \quad (8)$$

Donde:

- $PC_s$  = Poder calorífico superior de la leña (MJ/kg).  
 $Ho$  = Entalpía de la madera secada en horno (20 MJ/kg)  
 $Wbh$  = Contenido de humedad de la leña en base húmeda.

El poder calorífico de la madera secada en horno difiere poco para distintas especies de árboles (Tabla 12). En este estudio se asume una entalpía para la madera secada en horno, igual a  $Ho = 20$  MJ/kg (Almeida, 1990; Masera, 1993). Se utiliza el PC superior de la madera, por ser el valor que se utiliza en el BNE, para poder comparar los resultados. Considerando la humedad promedio nacional igual a 22% en base húmeda, al aplicar la Ecuación 8, se obtiene un  $PC_s$  promedio nacional igual a 16 MJ/kg de leña (ver Apéndice 2).

**Tabla 12. Contenido energético y densidad para tres especies usadas como combustible**

| Género/Especie | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) | Contenido energético (MJ/kg) |
|----------------|-------------------------------|------------------------------|
| Quercus        | 0.71                          | 18.3 - 20.1                  |
| Pinus          | 0.45 - 0.51                   | 17.7 - 19.5                  |
| Alnus          | n.d.                          | 20.0                         |

Fuente: Almeida (1990) y Camacho (1985) para el contenido energético y Echenique (1982) para las densidades.

## 2.2. Consumo energético de la pequeña industria "PI"

Además del sector doméstico, la pequeña industria (PI) demanda una gran cantidad de biomasa para energía.

Según Reiche (1990) las pequeñas industrias pueden agruparse en:

**Industrias domésticas:** se caracterizan por ser completamente familiares, sus procesos son sencillos y requieren poca mano de obra, las más importantes son: tortillerías, panaderías, fábricas de jabón, etc.

**Industrias de tecnologías y capitales bajos:** en esta categoría se agrupan las industrias de tipo artesanal, son establecimientos pequeños que requieren cierto grado de especialización y mayor mano de obra; las principales son: salineras, caleras, trapiches, ladrilleras y tejas, alfarerías y producción de carbón.

**Industrias de tecnologías y capitales altos:** se caracterizan por poseer una infraestructura formal, sus procesos son complejos y su demanda de mano de obra es grande (administrativa, técnica y comercial), destacan: los ingenios azucareros y destilerías, beneficios para café y secado de hojas de tabaco

En México abundan principalmente los dos primeros tipos, esto sugiere que una de las mayores restricciones para la sustitución de combustibles es la económica, además de que no existen alternativas viables.

La PI ha sido poco estudiada, sólo existen algunos estudios que determinaron consumos unitarios (Tabla 13), para la región sur y sureste. Sin embargo, se desconoce el número de PI en el país. Es importante destacar que la mayoría de ellas se localizan en la zona centro y sur del país, y generalmente se ubican en las zonas rurales y en los alrededores de las áreas urbanas. El consumo de la pequeña industria se estima en 3 millones de metros cúbicos de madera en rollo para 1990; que en términos energéticos representan 31 PJ/año. El consumo de leña en la pequeña industria es de alrededor del 10% de la leña residencial (Maserá, 1997).

Debido a la escasa información sobre el tema, en el presente trabajo sólo se determinará el consumo de leña en el sector residencial mexicano.

**Tabla 13. Consumo de leña en pequeñas industrias seleccionadas**

| Pequeña Industria    | Consumo unitario (kg leña/unidad de producto)   |
|----------------------|---|
| Tortilleras          | 1.4 - 2.0 kg/kg maíz                            |
| Alfarería            | 300 - 5400 kg/mes/taller                        |
| Ladrillera           | 0.4 - 0.9 kg/ladrillo                           |
| Panadera             | 0.9 kg/kg harina                                |
| Artesanal del cobre  | 130 kg/pieza de 50 kg;<br>(más 20 kg de carbón) |
| Producción de mezcal | 5 kg/l de mezcal                                |

Fuente: Masera (1995), Frausto (1991), Masera *et al.*, (1997a)

### 2.3. Parametrización del modelo de demanda de leña en México

En resumen, a partir de las consideraciones efectuadas en la sección anterior se utilizaron los siguientes supuestos para parametrizar el modelo de demanda de leña:

- i) El consumo per cápita de leña se asume equivalente a la leña per cápita consumida en la cocción de alimentos.
- ii) El número de usuarios exclusivos de leña (rurales y urbanos) los proporciona el INEGI, excepto para 1960, año en que se consideró que los usuarios de leña eran preferentemente rurales.
- iii) La saturación mixta rural se determinó como la diferencia entre la saturación SEMIP y la reportada por el INEGI.
- iv) Con base en estudios de caso, se determinó un porcentaje de usuarios mixtos urbanos. Se asume que éstos últimos han experimentado un crecimiento lineal entre 1960 y 1990.
- v) Se determinó un CU nacional igual a 2.1 kg/cap/día para los usuarios exclusivos de leña, tanto rurales como urbanos.
- vi) El CU para los usuarios mixtos (1.8 kg/cap/día) se determinó considerando el ahorro promedio de leña logrado por los usuarios duales (16%). Este valor es el mismo para los usuarios rurales y urbanos.
- vii) El contenido de humedad promedio para leña en condiciones de uso es del 22%.
- viii) Se asume que el PCs de la leña es igual a 16 MJ/kg, esto mediante la aplicación la ecuación 8 y la humedad promedio del 22%.

Con base en las consideraciones anteriores el modelo que utilizaremos para estimar el consumo residencial de leña en México, desagregado por entidad federativa; simplificado a partir la ecuación 7, se presenta a continuación (Ecuación 9).

$$E_{Lt} = PC_S * f * \sum_e \sum_j \sum_k (S_{ejkt} * CU_j) \quad (9)$$

Donde:

$e$  = entidad federativa

$j$  = es el tipo de usuarios, pueden ser exclusivos de leña ( $EL$ ) o mixtos ( $M$ )

$k$  = indica el subsector: rural ( $R$ ) o urbano ( $U$ )

$E_{Lt}$  = Consumo anual de leña en PJ/año en el año  $t$

$PC_S$  = 16 MJ/kg

$S_{jkt}$  = Se asigna a partir de información del INEGI y los Tablas 3 y 5

$CU_j$  = Se considera que  $CU$  permanece constante en el tiempo y es igual tanto para los usuarios rurales como urbanos:

$CU_{EL}$  = 2.1 kg/cap/día para usuarios exclusivos de leña ( $EL$ ) y

$CU_M$  = 1.8 kg/cap/día para usuarios Mixtos de leña y gas ( $M$ ).

$PI$  = Consumo de la pequeña industria en PJ/año

$f$  = Factor de conversión a PJ/año ( $365 * 10^{-9}$ )

Ahora bien, para cada entidad federativa  $S_{ejkt}$ , es decir la saturación por tipo de usuario: exclusivo leña ( $EL$ ) o mixto ( $M$ ), en el subsector rural ( $R$ ) o urbano ( $U$ ) para el año  $t$ , se expresa matemáticamente por la ecuación 10:

$$S_{ejkt} = S_{eELR} + S_{eELU} + S_{eMR} + S_{eMU} \quad (10)$$

Donde:

$S_{eELR}$  = es la saturación estatal de los usuarios exclusivos de leña en el área rural y se determina a partir de información del INEGI, excepto para 1960, año en el que suponemos que la población que utiliza leña para cocinar es preferentemente rural (Ecuación 11 y 12)

$$S_{eELR} = P_{eR}, \text{ si } P_{eR} \leq S_{eTL} \quad (11)$$

$$\text{ó } S_{eELR} = S_{eTL}, \text{ si } P_{eR} > S_{eTL} \quad (12)$$

$P_{eR}$  representa la población rural en cada entidad federativa, y  $S_{eTL}$  indica la saturación estatal total de usuarios de leña.

$S_{eELU}$  = es la saturación estatal de los usuarios exclusivos de leña en el área urbana y se determina a partir de información del INEGI, excepto para 1960 que se determina como la diferencia entre la población total usuaria de leña ( $S_{eTL}$ ) y la saturación de usuarios exclusivos de leña rurales ( $S_{eELR}$ ) de la siguiente manera (Ecuación 13):

$$S_{eELU} = S_{eTL} - S_{eELR} \quad (13)$$

$S_{eMR}$  = es la saturación estatal de los usuarios mixtos en el área rural y está dada por la diferencia entre la saturación generada por la SEMIP en 1988 ( $S_{eSEMIP}$ ) y la saturación exclusiva de leña reportada por el INEGI ( $S_{eINEGI}$ ), en términos matemáticos se da por la ecuación 14:

$$S_{eMR} = S_{eSEMIP} - S_{eINEGI} \quad (14)$$

$S_{eMU}$  = es la saturación estatal mixta urbana y se calcula asumiendo que una porción adicional a los usuarios exclusivos de leña urbanos realizan un uso mixto de combustibles, a este factor se le ha denominado factor de uso mixto urbano ( $F_{emu}$ ) con valores desde 20% a 50% desde 1960 hasta 1990 (Ecuación 15).

$$S_{eMU} = S_{eELU} * (F_{emu}) \quad (15)$$

A partir de las relaciones anteriores, para determinar el consumo energético nacional de leña de los usuarios exclusivos, se sustituyen los valores apropiados de cada variable en la ecuación 9 (Ecuación 16):

$$E_{Li(EL)} = 16 * 365 * 10^{-9} \sum_e \sum_j \sum_k (S_{ejkt} * 2.1) \quad \dots\dots(16)$$

De la misma manera, el consumo nacional de leña, en términos energéticos, para los usuarios mixtos se obtiene mediante la sustitución de los valores correspondientes, en la misma ecuación 9, generándose la ecuación 17:

$$E_{Li(M)} = 16 * 365 * 10^{-9} \sum_e \sum_j \sum_k (S_{ejkt} * 1.8) \quad (17)$$

## CAPITULO III

# EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE LEÑA EN MÉXICO (1960-2000)

En este capítulo se analiza el comportamiento de los usuarios de leña, desagregándolos en subsectores y por tipo de usuario para el periodo 1960-2000. En la primera sección se presenta un panorama general de la población y vivienda en México, y su evolución durante el lapso 1960-1990. Posteriormente, utilizando el modelo desarrollado en el capítulo anterior se estima el consumo de leña por tipo de usuario y su evolución nacional desde 1960 hasta 1990. Finalmente se realiza una proyección para el año 2000 tanto para los usuarios de leña como para el consumo energético de leña.

### 3.1. Aspectos generales de población y vivienda en México

La población mexicana creció, entre los años 1960 y 1990 de 34.9 a 81.2 millones de personas, con una TMCA<sup>1</sup> de 2.9%; sin embargo, el comportamiento de la población fue diferente durante las décadas intermedias. En el periodo 1960-1970 se observó un crecimiento de 3.3% anual, mientras que para 1970-1980 la tasa era del 3.2% por año, finalmente en la década 1980-1990 la población creció sólo al 2.0% anual (Tabla 14).

Durante este periodo el número de viviendas se incrementó de 6.4 a 16.2 millones a una tasa del 3.1% anual, con pequeñas diferencias en las décadas intermedias, ocurriendo el mayor crecimiento en el periodo 1970-1980 (3.8%). Como el número de viviendas se incrementó a un mayor ritmo que la población, el tamaño de los hogares<sup>2</sup> disminuyó de 5.4 a 5.0 personas por vivienda entre 1960 y 1990.

El comportamiento anterior se refiere al panorama nacional; sin embargo, como los subsectores rural y urbano presentan un comportamiento diferente se realiza una desagregación a este nivel para generar una perspectiva más representativa.

---

<sup>1</sup> TMCA es la Tasa Media de Crecimiento Anual.

<sup>2</sup> El hogar está integrado por las personas que habitan en una vivienda particular (INEGI, 1992).

## 3.1.1. Subsector urbano

Durante el periodo 1960-1990 la población del subsector urbano se incrementó de 17.7 a 57.9 millones de personas. El número de viviendas experimentó un crecimiento anual ligeramente mayor al de la población, de 3.1 millones de viviendas en 1960, se pasó a 11.8 millones en 1990. Este subsector experimentó un mayor crecimiento que el rural, entre otras cuestiones por la importante migración campo-ciudad. Adicionalmente el tamaño del hogar disminuyó rápido en la población urbana, de tal forma que pasó de 5.7 personas por vivienda en 1960 a 4.9 en 1990 (Tabla 14).

Tabla 14. Población y vivienda en México (1960-1990)

| Población y vivienda en México |            |            |            | TMCA  |        |       |
|--------------------------------|------------|------------|------------|-------|--------|-------|
| Indicador                      | Total      | Urbano     | Rural      | Total | Urbano | Rural |
| <b>1960</b>                    |            |            |            |       |        |       |
| Población                      | 34,923,129 | 17,705,118 | 17,218,011 |       |        |       |
| Vivienda                       | 6,409,096  | 3,123,598  | 3,285,498  |       |        |       |
| Pers/viv                       | 5.4        | 5.7        | 5.2        |       |        |       |
| <b>1970</b>                    |            |            |            |       |        |       |
| Población                      | 48,225,238 | 28,308,556 | 19,916,682 | 3.3%  | 4.8%   | 1.5   |
| Vivienda                       | 8,286,369  | 4,864,160  | 3,422,209  | 2.6%  | 4.5%   | 0.4   |
| Pers/viv                       | 5.8        | 5.8        | 5.8        | 0.7%  | 0.3%   | 1.1   |
| <b>1980</b>                    |            |            |            |       |        |       |
| Población                      | 66,365,920 | 43,910,048 | 22,513,556 | 3.2%  | 4.5%   | 1.2   |
| Vivienda                       | 12,074,609 | 8,172,459  | 3,902,150  | 3.8%  | 5.3%   | 1.3   |
| Pers/viv                       | 5.5        | 5.4        | 5.8        | -0.6% | -0.8%  | -0.1  |
| <b>1990</b>                    |            |            |            |       |        |       |
| Población                      | 81,249,645 | 57,959,683 | 23,289,962 | 2.0%  | 2.8%   | 0.3   |
| Vivienda                       | 16,197,802 | 11,870,435 | 4,327,367  | 3.0%  | 3.8%   | 1.0   |
| Pers/viv                       | 5.0        | 4.9        | 5.4        | -0.9% | -1.0%  | -0.7  |
| <b>Periodo 1960-1990</b>       |            |            |            |       |        |       |
| Población                      |            |            |            | 2.9%  | 4.0%   | 1.0   |
| Vivienda                       |            |            |            | 3.1%  | 4.6%   | 0.9   |
| Pers/viv                       |            |            |            | -0.3% | -0.5%  | 0.1   |

Fuente: Elaborado a partir de INEGI (1963, 1973, 1983, 1992)

### 3.1.2. Subsector rural

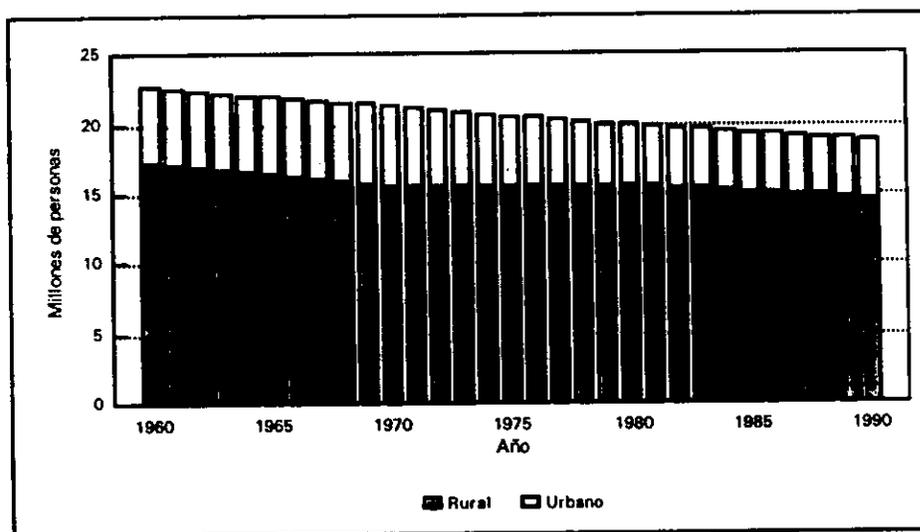
La población rural estuvo integrada en 1960, por 17.2 millones de personas, distribuidas en 3.3 millones de viviendas, es decir, el tamaño del hogar era de 5.2 personas por vivienda. En el periodo 1960-1990 la población rural creció a una TMCA igual a 1.0%, para sumar al final de este lapso 23.3 millones de personas. El número de viviendas por su parte, experimentó un crecimiento ligeramente inferior al de la población, 0.9% contra 1.0%, existiendo en 1990 un total de 4.3 millones de viviendas (Tabla 14). El tamaño del hogar se incrementó de 5.2 a 5.4 personas por vivienda.

La participación del subsector rural respecto a la población total ha decrecido, pues mientras en 1960 representaba el 49.3% de la población, para 1990 sólo contribuía con el 28.7%.

### 3.2. Evolución nacional de los usuarios de leña

La población que utiliza leña como combustible principal para el cocinado de alimentos, según el INEGI (1963, 1973, 1983 y 1992), evolucionó de 22.6 a 18.7 millones de habitantes en el periodo 1960-1990 (Figura 3), a un ritmo decreciente del 0.6% anual. Los usuarios de leña respecto a la población total representaban en 1960 el 64.8%, mientras que en 1990 sólo aportaban el 23.0%. Sin embargo como ya vimos, esta estimación no totalmente correcta porque no considera los usuarios mixtos de combustible.

**Figura 3. Evolución de los usuarios de leña según INEGI (1960-1990)**



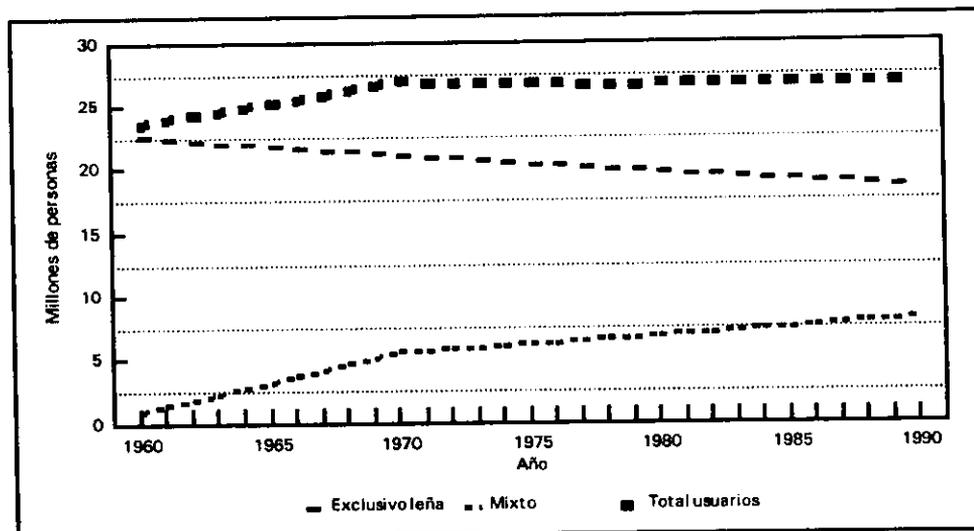
Fuente: INEGI (1963, 1973, 1983 y 1992)

Tomando en cuenta este último aspecto estimamos, a partir de las consideraciones planteadas en el capítulo II (sección 2.1.1.), que los usuarios de leña pasaron de 23.7 a 26.9 millones de personas (Figura 4). Esto refleja la importante contribución de los usuarios mixtos, pues en 1990 constituían el 31% del total de usuarios de leña (8.3 millones de personas).

En 1960 los usuarios totales de leña representaban el 67.9% de la población nacional, mientras que para 1990 su participación disminuyó al 33.2% (Tabla 15). Obviamente los subsectores rural y urbano observan comportamientos diferentes.

Con el propósito de obtener resultados representativos y confiables, el análisis de los usuarios de leña se ha desagregado en dos categorías: *a)* por subsector (rural y urbano) y *b)* por tipo de usuario (exclusivo de leña y mixtos). Se realiza además un análisis del comportamiento de los usuarios de leña por tamaño de la población para los años 1980 y 1990, esto por carecer de información para los años anteriores.

**Figura 4. Evolución de la población total de leña (1960-1990)**



Fuente: Elaboración propia aplicando el modelo de demanda de leña, tomando como base INEGI (1963, 1973, 1983 y 1992) y suposiciones de saturación de usuarios mixtos (ver capítulo II).

### 3.2.1. Desagregación por subsectores

La desagregación a este nivel reporta la población que usa leña como energético en las áreas rural y urbana. En cada subsector se incluyen tanto los usuarios exclusivos de leña como los que realizan un uso mixto de combustibles.

**Tabla 15. Usuarios de leña por subsector (1960-1990)**

| Usuarios de leña por subsector |            |           |            | TMCA  |        |       |
|--------------------------------|------------|-----------|------------|-------|--------|-------|
| Indicador                      | Total      | Urbano    | Rural      | Total | Urbano | Rural |
| <b>1960</b>                    |            |           |            |       |        |       |
| Población                      | 23,708,908 | 6,490,897 | 17,218,011 |       |        |       |
| Vivienda                       | 4,313,773  | 1,028,186 | 3,285,588  |       |        |       |
| Pers/viv                       | 5.5        | 6.3       | 5.2        |       |        |       |
| <b>1970</b>                    |            |           |            |       |        |       |
| Población                      | 27,026,047 | 7,405,155 | 19,620,892 | 1.3%  | 1.3%   | 1.3   |
| Vivienda                       | 4,659,019  | 1,271,230 | 3,387,630  | 0.8%  | 2.1%   | 0.3   |
| Pers/viv                       | 5.8        | 5.8       | 5.8        | 0.5%  | -0.8%  | 1.0   |
| <b>1980</b>                    |            |           |            |       |        |       |
| Población                      | 26,802,406 | 5,944,333 | 20,858,074 | -0.1% | -2.2%  | 0.61  |
| Vivienda                       | 4,655,615  | 1,051,593 | 3,604,900  | -0.0% | -1.9%  | 0.62  |
| Pers/viv                       | 5.8        | 5.7       | 5.8        | -0.1% | -0.3%  | -0.01 |
| <b>1990</b>                    |            |           |            |       |        |       |
| Población                      | 26,968,307 | 6,141,534 | 20,826,773 | 0.1%  | 0.3%   | <-0.1 |
| Vivienda                       | 4,903,650  | 1,199,681 | 3,703,969  | 0.5%  | 1.3%   | 0.3   |
| Pers/viv                       | 5.5        | 5.1       | 5.6        | -0.5% | -1.0%  | -0.3  |
| <b>Periodo 1960-1990</b>       |            |           |            |       |        |       |
| Población                      |            |           |            | 0.4%  | -0.2%  | 0.6   |
| Vivienda                       |            |           |            | 0.4%  | 0.5%   | 0.4   |
| Pers/viv                       |            |           |            | 0.0%  | -0.7%  | 0.2   |

Fuente: Elaboración propia aplicando el modelo de demanda de leña, tomando como base INEGI (1963, 1973, 1983 y 1992) y suposiciones de saturación de usuarios mixtos (ver capítulo II).

### **a) Subsector urbano**

La participación de este subsector ha permanecido constante, variando ligeramente su aportación de 6.5 a 6.1 millones de usuarios de leña, esto representa una TMCA del 0.2% anual para el periodo 1960-1990. Las personas que usan leña en el subsector urbano disminuyeron su participación respecto a los usuarios totales de leña, pasando del 38.4% al 22.9% durante el periodo 1960-1990 (Tabla 15). Por otra parte, el número de personas por vivienda para los usuarios urbanos de leña disminuyó de 6.3 en 1960 a 5.1 en 1990.

### **b) Subsector rural**

El uso de la leña predomina en este subsector. Mientras en 1960 la población que usaba leña fue de 17.2 millones, en 1990 alcanzó los 21.0 millones de habitantes; los usuarios rurales de leña se incrementaron a una tasa anual de 0.6% en el periodo 1960-1990.

La participación de este subsector respecto a la población total que utiliza leña como energético creció de 72.6% a 77.2% en el periodo 1960-1990 (Tabla 15). El número de habitantes totales que usan leña como combustible respecto a la población rural total ha disminuido sólo un 10 por ciento, pues mientras en 1960 toda la población rural cocinaba con leña, para 1990 el 89.4% la sigue usando como combustible principal. Esta ligera variación indica que la penetración del gas LP en las comunidades rurales ha sido lenta.

La composición de los hogares rurales que usan leña, se incrementó en el periodo 1960-1990 de 5.2 a 5.6 personas por vivienda. Este valor se mantiene por encima del promedio total nacional que es de 5.0 personas por vivienda.

#### **3.2.2. Desagregación por tipo de usuario**

En esta clasificación se agrupan por un lado los usuarios que utilizan exclusivamente leña como energético, y por el otro las personas que realizan un uso mixto de combustibles, incluyendo los respectivos usuarios rurales y urbanos.

## a) Usuarios exclusivos de leña

Los usuarios exclusivos de leña experimentaron un descenso anual del 0.6% en el periodo 1960-1990. Al inicio del este lapso había 22.6 millones y en 1990 18.7 millones de personas. Las viviendas por su parte decrecieron de 4.1 a 3.4 millones. Por su parte el tamaño de los hogares se mantuvo constante durante este intervalo, 5.5 personas por vivienda; a pesar que, tanto en 1970 como en 1980 fue de 5.8 personas por vivienda. (Tabla 16).

Tabla 16. Usuarios exclusivos de leña (1960-1990)

| Usuarios exclusivos de leña |            |           |            | TMCA   |        |       |
|-----------------------------|------------|-----------|------------|--------|--------|-------|
| Indicador                   | Total      | Urbano    | Rural      | Total  | Urbano | Rural |
| <b>1960</b>                 |            |           |            |        |        |       |
| Población                   | 22,617,314 | 5,409,081 | 17,208,233 |        |        |       |
| Vivienda                    | 4,115,124  | 831,492   | 3,283,632  |        |        |       |
| Pers/viv                    | 5.5        | 6.5       | 5.2        |        |        |       |
| <b>1970</b>                 |            |           |            |        |        |       |
| Población                   | 21,252,909 | 5,696,273 | 15,556,636 | -0.6%  | 0.5%   | -1.0  |
| Vivienda                    | 3,663,788  | 977,869   | 2,685,919  | -1.2%  | 1.6%   | -2.0  |
| Pers/viv                    | 5.8        | 5.8       | 5.8        | 0.5%   | -1.1%  | 1.0   |
| <b>1980</b>                 |            |           |            |        |        |       |
| Población                   | 19,864,432 | 4,245,952 | 15,618,480 | -0.7%  | -2.9%  | <0.1  |
| Vivienda                    | 3,450,479  | 751,138   | 2,699,341  | -0.6%  | -2.6%  | <0.1  |
| Pers/viv                    | 5.8        | 5.7       | 5.8        | -0.1%  | -0.3%  | <0.1  |
| <b>1990</b>                 |            |           |            |        |        |       |
| Población                   | 18,663,572 | 4,094,365 | 14,569,207 | -0.6%  | -0.4%  | -0.7  |
| Vivienda                    | 3,393,698  | 827,468   | 2,566,230  | <-0.1% | <0.1%  | <-0.1 |
| Pers/viv                    | 5.5        | 4.9       | 5.7        | <-0.1% | <-0.1% | <-0.1 |
| <b>Periodo 1960-1990</b>    |            |           |            |        |        |       |
| Población                   |            |           |            | -0.6%  | -0.9%  | -0.6  |
| Vivienda                    |            |           |            | -0.6%  | -0.0%  | -0.8  |
| Pers/viv                    |            |           |            | 0.0%   | -0.9%  | 0.3   |

Fuente: Elaboración propia aplicando el modelo de demanda de leña, tomando como base INEGI (1963, 1973, 1983 y 1992) y suposiciones de saturación de usuarios mixtos (ver capítulo II).

El comportamiento de los usuarios exclusivos de leña en los subsectores urbano y rural es diferente, concentrándose el mayor número de usuarios de leña en el área rural (76.1%), el restante 23.9% corresponde a la zona urbana (Tabla 16). El subsector rural experimentó una disminución en el número de usuarios exclusivos de leña, de 17.2 a 14.6 millones de habitantes; a pesar de esta disminución, el promedio de personas por vivienda aumentó de 5.2 en 1960 a 5.7 personas por vivienda en 1990.

Los usuarios exclusivos de leña en el subsector urbano, experimentaron un descenso del 0.9% al año, pasando de 5.4 a 4.1 millones de habitantes; el número de personas por vivienda se redujo de 6.5 a 4.9 durante el lapso 1960-1990.

#### **b) *Usuarios mixtos***

La población que realiza un uso mixto de combustibles esta compuesta por usuarios duales de gas-leña, petróleo-leña y probablemente electricidad-leña, sin embargo por ausencia de saturaciones mixtas para cada uno de esos combustibles se considera que los usuarios mixtos utilizan leña y gas LP.

Los usuarios mixtos nacionales pasaron de tan sólo 1.1 a 8.3 millones de habitantes en el periodo 1960-1990. En 1970 ocurrió un crecimiento muy rápido, posteriormente el incremento anual fue de 1.9% y 1.8% para 1980 y 1990 respectivamente. El comportamiento de las viviendas, por su parte, fue similar al de la población en este periodo (Tabla 17).

En 1960 los usuarios mixtos rurales representaban el 0.9% del total de usuarios mixtos y para 1990 sumaban el 75.3%. El tamaño de los hogares rurales que realizan un uso mixto de combustibles se incrementó de 5.0 a 5.5 personas por vivienda (Tabla 17).

Por otro lado, el subsector mixto urbano se incrementó a una tasa anual del 2.1%, esto significó un cambio de 1.1 a 2.0 millones de usuarios de leña entre los años 1960 y 1990; el tamaño del hogar se mantuvo en 5.5 personas por vivienda durante este periodo.

Tabla 17. Usuarios mixtos (1960-1990)

| Usuarios mixtos          |           |           |           | TMCA  |        |       |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-------|--------|-------|
| Indicador                | Total     | Urbano    | Rural     | Total | Urbano | Rural |
| <b>1960</b>              |           |           |           |       |        |       |
| Población                | 1,091,594 | 1,081,816 | 9,778     |       |        |       |
| Vivienda                 | 198,649   | 196,694   | 1,956     |       |        |       |
| Pers/viv                 | 5.5       | 5.5       | 5.0       |       |        |       |
| <b>1970</b>              |           |           |           |       |        |       |
| Población                | 5,773,138 | 1,708,882 | 4,064,256 | 18.1% | 4.7%   | 82.8  |
| Vivienda                 | 995,231   | 293,361   | 701,711   | 17.5% | 4.1%   | 80.1  |
| Pers/viv                 | 5.8       | 5.8       | 5.8       | 0.5%  | 0.6%   | 1.5   |
| <b>1980</b>              |           |           |           |       |        |       |
| Población                | 6,937,974 | 1,698,381 | 5,239,594 | 1.9%  | -0.1%  | 2.6   |
| Vivienda                 | 1,205,136 | 300,455   | 905,559   | 1.9%  | 0.2%   | 2.6   |
| Pers/viv                 | 5.8       | 5.7       | 5.8       | -0.1% | -0.3%  | <-0.1 |
| <b>1990</b>              |           |           |           |       |        |       |
| Población                | 8,304,735 | 2,047,169 | 6,257,566 | 1.8%  | 1.9%   | 1.8   |
| Vivienda                 | 1,509,952 | 372,213   | 1,137,739 | 2.3%  | 2.2%   | 2.3   |
| Pers/viv                 | 5.5       | 5.5       | 5.5       | -0.5% | -0.3%  | -0.5  |
| <b>Periodo 1960-1990</b> |           |           |           |       |        |       |
| Población                |           |           |           | 7.0%  | 2.1%   | 24.0  |
| Vivienda                 |           |           |           | 7.0%  | 2.1%   | 23.6  |
| Pers/viv                 |           |           |           | 0.0%  | 0.0%   | 0.3   |

Fuente: Elaboración propia aplicando el modelo de demanda de leña, tomando como base INEGI (1963, 1973, 1983 y 1992) y suposiciones de saturación de usuarios mixtos (ver capítulo II).

### 3.2.3. Evolución de los usuarios exclusivos de leña por tamaño de población

Esta clasificación se realiza considerando únicamente los usuarios exclusivos de leña, es decir, los que reporta el INEGI (1973, 1983, 1992). La información por tamaño de población se empezó a reportar en 1970, iniciando esta clasificación en la población rural y tamaños superiores. Es hasta 1980 cuando se realiza una agrupación de las comunidades, iniciando con lugares cuya población va desde 1 a 499 habitantes, posteriormente en 1990 se desagrega iniciando con poblaciones entre 1 y 99 habitantes.

La mayor parte de los usuarios exclusivos de leña se concentran en las comunidades rurales más pequeñas (Tabla 18). Esto muestra que existe una correlación inversa entre el tamaño de la comunidad y los usuarios de leña; es decir, las comunidades con menor cantidad de habitantes presentan una elevada saturación de usuarios de leña.

**Tabla 18. Usuarios de leña por tamaño de localidad (1960-1990)**

| Tamaño de la localidad | 1-499     | 500 a 999 | 1000 a 2499 | 2500 a 4999 | 5000 a 14999 | Mayor de 15000 | Rural      | Urbano    | Nacional  |
|------------------------|-----------|-----------|-------------|-------------|--------------|----------------|------------|-----------|-----------|
| 1960                   | 0         | 0         | 0           | 0           | 0            | 0              | 17,208,233 | 5,409,081 | 22,617,31 |
| 1970                   | 0         | 0         | 15,556,636  | 2,095,145   | 1,244,778    | 2,356,350      | 15,556,636 | 5,696,273 | 21,252,90 |
| 1980                   | 7,440,805 | 4,087,399 | 4,060,364   | 1,674,212   | 1,373,188    | 1,228,464      | 15,588,568 | 4,275,864 | 19,864,43 |
| 1990                   | 7,385,088 | 3,629,737 | 3,554,382   | 1,633,175   | 1,318,401    | 1,231,989      | 14,569,207 | 4,183,565 | 18,752,77 |
| <b>TMCA</b>            |           |           |             |             |              |                |            |           |           |
| 1960-1970              | 0.0%      | 0.0%      | 0.0%        | 0.0%        | 0.0%         | 0.0%           | -1.0%      | 0.5%      | -0.6      |
| 1970-1980              | 0.0%      | 0.0%      | -12.6%      | -2.2%       | 1.0%         | -6.3%          | <0.1%      | -2.8%     | -0.7      |
| 1980-1990              | -0.1%     | -1.2%     | -1.3%       | -0.3%       | -0.4%        | <0.1%          | -0.7%      | -0.2%     | -0.6      |
| <b>Periodo</b>         |           |           |             |             |              |                |            |           |           |
| 1960-1990              | 0.0%      | 0.0%      | 0.0%        | 0.0%        | 0.0%         | 0.0%           | -0.6%      | -0.9%     | -0.6      |
| 1970-1990              | 0.0%      | 0.0%      | -7.1%       | -1.2%       | 0.3%         | -3.2%          | -0.3%      | -1.5%     | -0.6      |

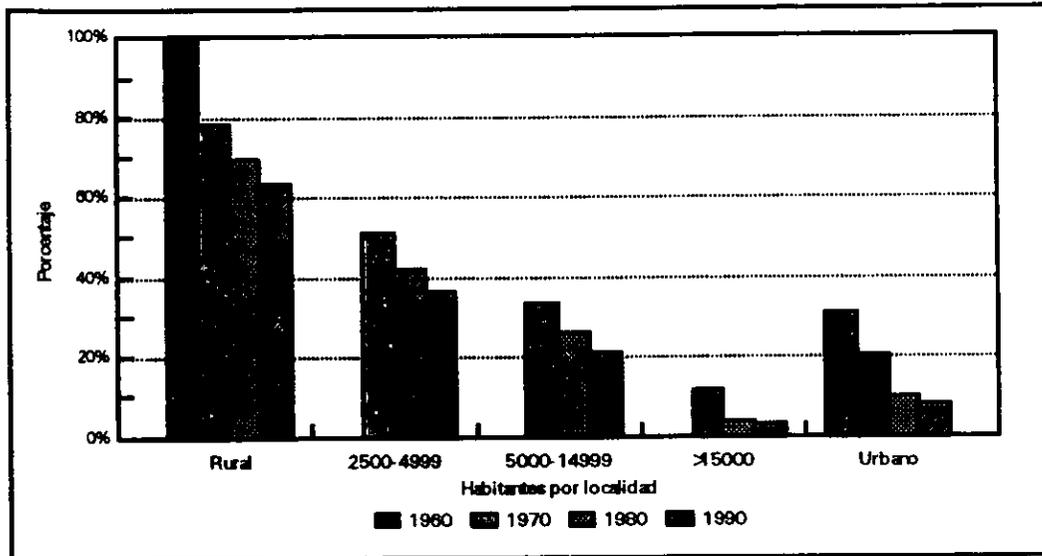
Fuente: Elaborado a partir de INEGI (1963, 1973, 1983, 1992)

Los usuarios rurales exclusivos de leña representaban en 1960 el 99.9% de la población rural, mientras que en 1990 esta aportación disminuyó al 63.1% (Figura 5). Las localidades que poseen entre 1,000 y 2,499 habitantes registraron el mayor descenso de consumidores exclusivos de leña en la década de los ochenta, pasando de 4.0 a 3.5 millones de habitantes en el lapso 1980-1990 (Tabla 18). Asimismo, en las comunidades de 1 a 499 habitantes se observa una ligera disminución, pues mientras en 1980 el 79.3% de la población usaba únicamente leña para cocinar, en 1990 este porcentaje de redujo a 73.5 (Figura 6). En términos poblacionales, el número de usuarios exclusivos de leña en el subsector rural descendió de 17.2 millones de habitantes a 14.5 en el periodo 1960-1990 (Tabla 18).

La población urbana usuaria exclusiva de leña disminuyó en el periodo 1960-1990 pasando de 5.4 a 4.2 millones de habitantes (Tabla 18). Al inicio del periodo los consumidores urbanos exclusivos de leña representaban el 30.6% de la población urbana, mientras que en 1990 descendieron al 7.3% (Figura 5).

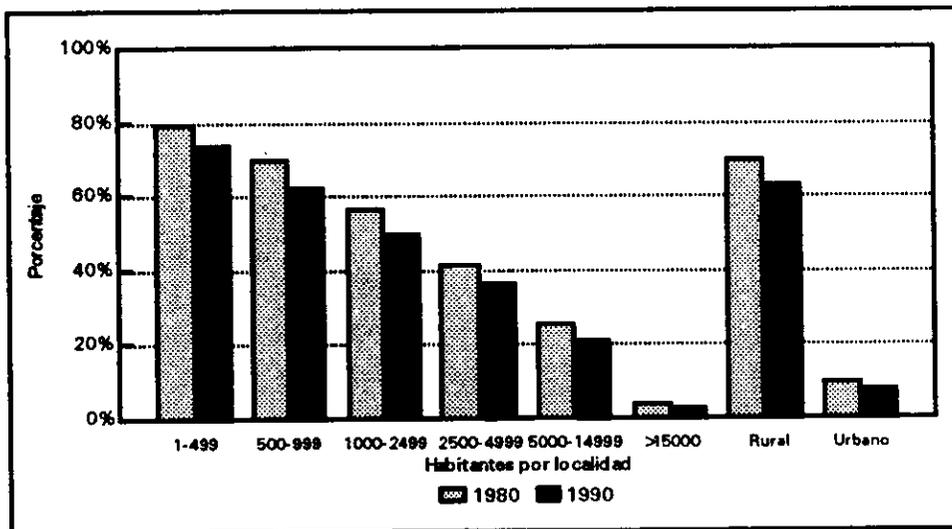
En 1980 en las localidades mayores de quince mil habitantes el 3.6% de la población total usaba únicamente leña para cocinar, mientras que en 1990 el porcentaje se redujo al 2.7 (Figura 6).

**Figura 5. Uso de leña por tamaño de localidad porcentaje de la población (1960-1990)**



Fuente: Elaborado a partir de INEGI (1963,1973,1983, 1992).

**Figura 6. Evolución de los usuarios de leña por tamaño de localidad porcentaje de la población (1980-1990)**



Fuente: Elaboración propia a partir de INEGI (1963,1973,1983, 1992).

### 3.3. El consumo de leña en México y su evolución

El consumo nacional de leña se obtuvo utilizando el modelo para estimar la demanda de leña desarrollado en el Capítulo II.

Para los usuarios exclusivos de leña el consumo energético total para el año  $t$   $E_{L_t(EL)}$  en PJ/año está dado por la ecuación 16 (Capítulo II) con los valores respectivos:

$$E_{L_t(EL)} = 16 * 365 * 10^{-9} \sum_e \sum_j \sum_k (S_{ejkt} * 2.1) \quad (16)$$

Y para los usuarios mixtos  $L_{Dt}$  es igual a:

$$E_{L_t(M)} = 16 * 365 * 10^{-9} \sum_e \sum_j \sum_k (S_{ejkt} * 1.8) \quad (17)$$

Donde  $S_{ejkt}$  se determinó a partir de las ecuaciones (11, 12, 13, 14 y 15) presentadas en el capítulo anterior.

En 1960 el sector residencial de México consumía 289 PJ generados a partir de la leña, para 1990 la aportación de este energético se incrementó 316 PJ (Figura 7 y Tabla 19). El crecimiento de la demanda de leña en el periodo 1960-1990 es ligeramente inferior al incremento de los usuarios totales, porque los usuarios mixtos que son los que se han incrementado más rápido, consumen menor cantidad de energía per cápita.

Los usuarios exclusivos de leña demandan la mayor parte de este energético, a pesar que durante el periodo 1960-1990 su participación respecto a la energía de leña total residencial disminuyó del 96.0% al 67.3%; en términos energéticos el consumo decreció de 277 a 229 PJ/año. Los usuarios mixtos por su parte, han aumentado considerablemente su consumo de leña, al inicio del periodo sólo demandaban 11 PJ/año mientras que en 1990 consumían 87 PJ/año. La demanda de leña de los usuarios exclusivos ha mantenido un ritmo anual decreciente constante del 0.6%, mientras que los usuarios mixtos han incrementado su consumo a una tasa anual del 7.0% para el periodo 1960-1990 (Tabla 20).

**Tabla 19. Evolución del consumo energético de leña por tipo de usuario en PJ/año (1960-1990)**

| Año  | Exclusivo leña<br>PJ/año |        | Mixtos<br>PJ/año |        | Nacional<br>PJ/año |
|------|--------------------------|--------|------------------|--------|--------------------|
|      | Rural                    | Urbano | Rural            | Urbano |                    |
| 1960 | 211                      | 66     | 0                | 11     | 289                |
| 1961 | 209                      | 67     | 4                | 12     | 292                |
| 1962 | 207                      | 67     | 9                | 12     | 295                |
| 1963 | 205                      | 67     | 13               | 13     | 298                |
| 1964 | 203                      | 68     | 17               | 14     | 301                |
| 1965 | 201                      | 68     | 21               | 14     | 304                |
| 1966 | 199                      | 68     | 26               | 15     | 308                |
| 1967 | 197                      | 69     | 30               | 16     | 311                |
| 1968 | 195                      | 69     | 34               | 16     | 314                |
| 1969 | 193                      | 69     | 38               | 17     | 318                |
| 1970 | 191                      | 70     | 43               | 18     | 321                |
| 1971 | 191                      | 68     | 44               | 18     | 320                |
| 1972 | 191                      | 66     | 45               | 18     | 320                |
| 1973 | 191                      | 64     | 46               | 18     | 319                |
| 1974 | 191                      | 62     | 47               | 18     | 318                |
| 1975 | 191                      | 60     | 49               | 18     | 318                |
| 1976 | 191                      | 59     | 50               | 18     | 317                |
| 1977 | 191                      | 57     | 51               | 18     | 317                |
| 1978 | 191                      | 55     | 52               | 18     | 317                |
| 1979 | 191                      | 54     | 54               | 18     | 317                |
| 1980 | 192                      | 52     | 55               | 18     | 317                |
| 1981 | 190                      | 52     | 56               | 18     | 316                |
| 1982 | 189                      | 52     | 57               | 19     | 316                |
| 1983 | 188                      | 52     | 58               | 19     | 316                |
| 1984 | 186                      | 51     | 59               | 19     | 316                |
| 1985 | 185                      | 51     | 60               | 20     | 316                |
| 1986 | 184                      | 51     | 61               | 20     | 316                |
| 1987 | 182                      | 51     | 62               | 20     | 316                |
| 1988 | 181                      | 51     | 63               | 21     | 316                |
| 1989 | 180                      | 50     | 65               | 21     | 316                |
| 1990 | 179                      | 50     | 66               | 22     | 316                |

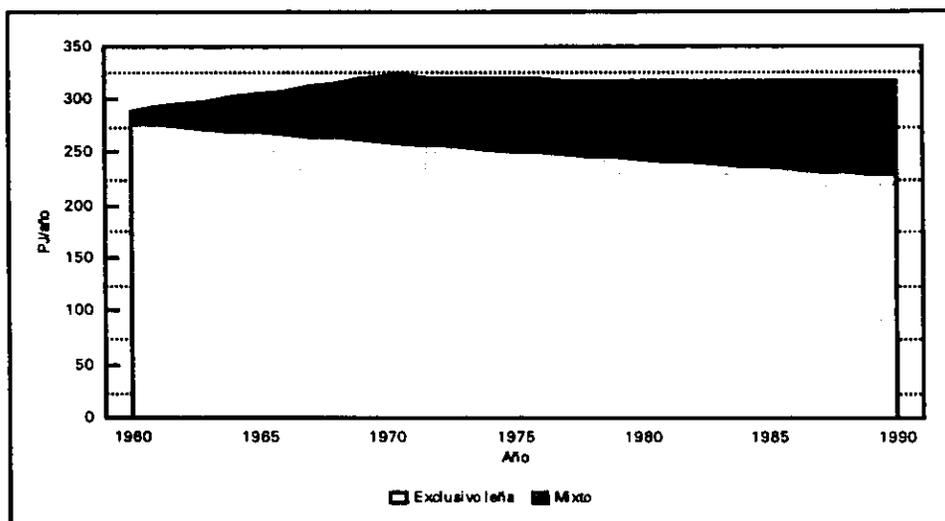
Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de demanda de leña.

**Tabla 20. TMCA del consumo por tipo de usuario (1960-2000)**

| Periodo   | Exclusivo leña | Mixtos | Nacional | BNE  |
|-----------|----------------|--------|----------|------|
| 1960-1970 | -0.6%          | 18.1%  | 1.1%     |      |
| 1970-1980 | -0.7%          | 1.9%   | -0.1%    | 1.4% |
| 1980-1990 | -0.6%          | 1.8%   | <-0.1%   | 0.5% |
| 1960-1990 | -0.6%          | 7.0%   | 0.3%     |      |
|           |                |        | 0.3%     |      |

Notas: Elaboración propia a partir del modelo de demanda de leña. La proyección para el año 2000 se muestra en gris.

**Figura 7. Evolución nacional del consumo de leña por tipo de usuario PJ/año (1960-1990)**



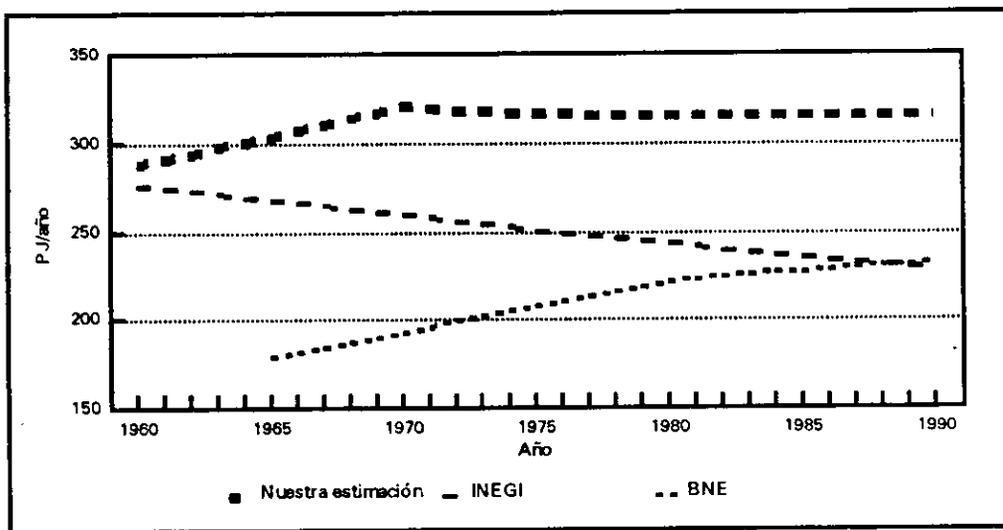
Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de demanda de leña.

### 3.3.1. Consumo de leña según el BNE, INEGI y nuestra estimación

En la Figura 8 se observa la diferencia entre el consumo de leña reportado por el balance nacional de energía (BNE) (SE, 1996), la información reportada por el INEGI y nuestra estimación. En 1990 el BNE proporciona un consumo nacional de leña igual a 233 PJ/año; si consideramos solamente los habitantes que reporta el INEGI, el consumo asciende a 229 PJ/año. Nuestra estimación que incluye a los usuarios mixtos de leña alcanza un consumo de 316 PJ/año.

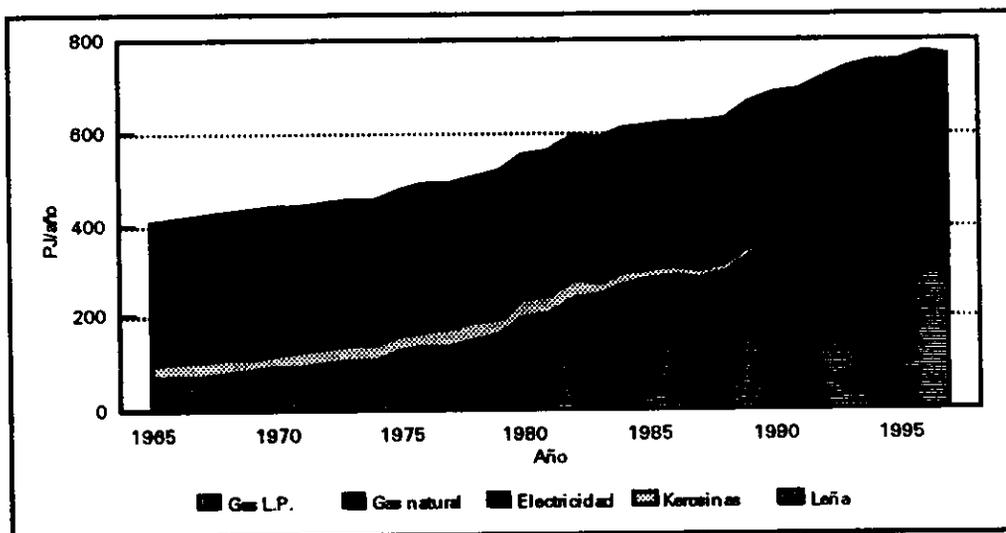
El consumo del sector residencial por energético en el periodo 1965-1997, incluyendo nuestra estimación del consumo de leña se muestra en la Figura 9. La leña según nuestra estimación representa el 41% del consumo total del sector mientras que el BNE reporta una participación de la leña del 35%.

**Figura 8. Consumo nacional de leña en el sector residencial PJ/año (1960-1990)**



Notas: El balance nacional de energía (BNE) proporciona datos a partir de 1965. Elaboración propia a partir del modelo de demanda de leña.

**Figura 9. Consumo final residencial por tipo de energético (PJ/año) 1965-1997**



Notas: Elaborado a partir del BNE y del modelo para determinar la demanda de leña.

### 3.4. Proyección del consumo de leña al año 2000

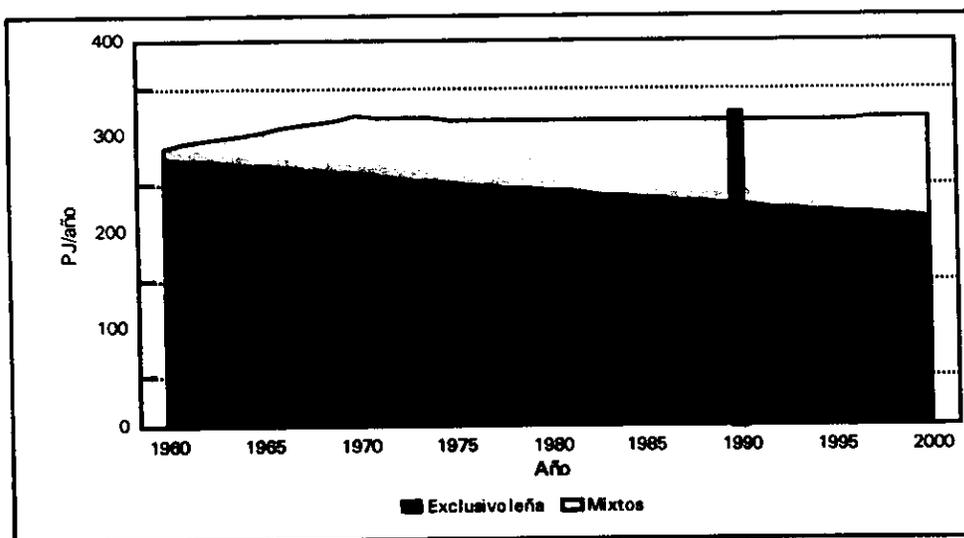
Si la tendencia creciente observada en la década 1980-1990 para los usuarios totales de leña continúa, en el año 2000 la población usuaria de leña alcanzará los 27.5 millones de personas (Tabla 21). La aportación de los subsectores urbano y rural será de 9.9 y 17.5 millones de personas respectivamente (Tabla 21). En términos energéticos, se espera que la leña aporte 320 PJ en el año 2000 (Figura 10 y Tabla 22).

Tabla 21. Usuarios de leña 1960-2000

| Año               | Total usuarios Leña | Usuarios exclusivos de leña | Usuarios mixtos | TMCA                |                             |                 |
|-------------------|---------------------|-----------------------------|-----------------|---------------------|-----------------------------|-----------------|
|                   |                     |                             |                 | Total usuarios leña | Usuarios exclusivos de leña | Usuarios mixtos |
| 1960              | 23,708,908          | 22,617,314                  | 1,091,594       |                     |                             |                 |
| 1970              | 27,026,047          | 21,252,909                  | 5,773,138       | 1.3%                | -0.6%                       | 18.1%           |
| 1980              | 26,802,406          | 19,864,432                  | 6,937,974       | -0.1%               | -0.7%                       | 1.9%            |
| 1990              | 26,968,307          | 18,663,572                  | 8,304,735       | 0.1%                | -0.6%                       | 1.8%            |
| 2000              | 27,500,000          | 17,500,000                  | 10,000,000      | 0.2%                | -0.6%                       | 1.8%            |
| Periodo 1960-2000 |                     |                             |                 | 0.4%                | -0.6%                       | 5.7%            |

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de demanda de leña y del INEGI.

Figura 10. Proyección del consumo de leña para 2000 (PJ/año)



Notas: Elaboración propia a partir del modelo de demanda de leña. La línea indica el inicio de la proyección 1990-2000, efectuada considerando la tendencia del periodo 1980-1990.

**Tabla 22. Proyección del consumo energético de leña por tipo de usuario en PJ/año (1990-2000)**

| Año  | Exclusivo leña<br>PJ/año |        | Mixtos<br>PJ/año |        | Nacional<br>PJ/año |
|------|--------------------------|--------|------------------|--------|--------------------|
|      | Rural                    | Urbano | Rural            | Urbano |                    |
| 1990 | 179                      | 50     | 66               | 22     | 316                |
| 1991 | 178                      | 50     | 67               | 22     | 316                |
| 1992 | 178                      | 50     | 68               | 22     | 316                |
| 1993 | 175                      | 50     | 69               | 23     | 317                |
| 1994 | 174                      | 49     | 71               | 23     | 317                |
| 1995 | 173                      | 49     | 72               | 24     | 317                |
| 1996 | 173                      | 49     | 73               | 24     | 318                |
| 1997 | 170                      | 49     | 74               | 25     | 318                |
| 1998 | 169                      | 49     | 76               | 25     | 319                |
| 1999 | 168                      | 49     | 77               | 25     | 319                |
| 2000 | 167                      | 48     | 79               | 26     | 320                |

Notas: Elaboración propia a partir del modelo de demanda de leña. La proyección se realizó considerando la tendencia del periodo 1980-1990.

### 3.5. Conclusiones

Con base en el análisis realizado, podemos asegurar que nuestra estimación es más adecuada y confiable, ya que involucra los factores más importantes que determinan el consumo de leña. Además, la asignación de los valores para cada variables es resultado de una amplia investigación de estudios de caso efectuados en el país.

La leña es aún el energético predominante en el sector residencial pues 26.9 millones de personas dependen de este combustible, esto representa una tercera parte de la población nacional.

Existe una gran diferencia entre nuestra estimación y el BNE, los datos proporcionados por el BNE representan el 79.3% de nuestra estimación, mientras que a partir de los datos del INEGI que reporta a los usuarios exclusivos de leña, la energía consumida representa el 67.3% de nuestra estimación.

El consumo de leña muestra una ligera tendencia creciente debido principalmente al incremento de los usuarios mixtos de leña. Los usuarios exclusivos de leña y su demanda experimentan un decrecimiento constante.

Los usuarios totales de leña descendieron respecto a la población nacional, en 1960 el 68% de los habitantes del país utilizaban leña como principal combustible en la cocción de alimentos, mientras que para 1990 los usuarios de leña representaban el 33% de la población nacional.

El 89% de la población rural utilizaba leña, en 1990, como fuente de energía para la preparación de alimentos principalmente, ya sea como combustible único o complementándolo con gas. Mientras en el subsector urbano sólo el 11% de la población usa leña.

El subsector rural demanda tres cuartas partes de la energía suministrada por la leña y se espera que continúe esta tendencia.

Los usuarios exclusivos de leña en el área rural descendieron del 99% al 63% durante el periodo 1960-1990. Por otra parte, la participación del subsector urbano decreció del 31% al 7%.

La correlación inversa entre el tamaño de localidad y población que usa leña es evidente, ya que la gran mayoría de usuarios de leña se concentra en las poblaciones con menos de 2500 habitantes.

La creciente penetración del gas LP implica sólo una sustitución parcial de leña por gas, esto mantiene alta la demanda de leña en el país.

El consumo nacional de leña generado por este estudio está más cercano a la realidad que la información proporcionada por el BNE. Sin embargo, ante las diferentes dinámicas del uso de leña en el país, en el siguiente capítulo se desagrega el consumo de leña para lograr datos más representativo en el ámbito regional.

## CAPITULO IV

### CONSUMO REGIONAL DE LEÑA

En este capítulo se propone una agrupación por estados a partir de sus características de consumo de leña. En la primera sección se presentan las consideraciones para la regionalización<sup>1</sup>, posteriormente se realiza la agrupación de los estados y se muestra la evolución de los usuarios de leña. Finalmente se muestra la evolución regional del consumo de leña en términos energéticos.

#### 4.1. Regionalización del consumo de leña

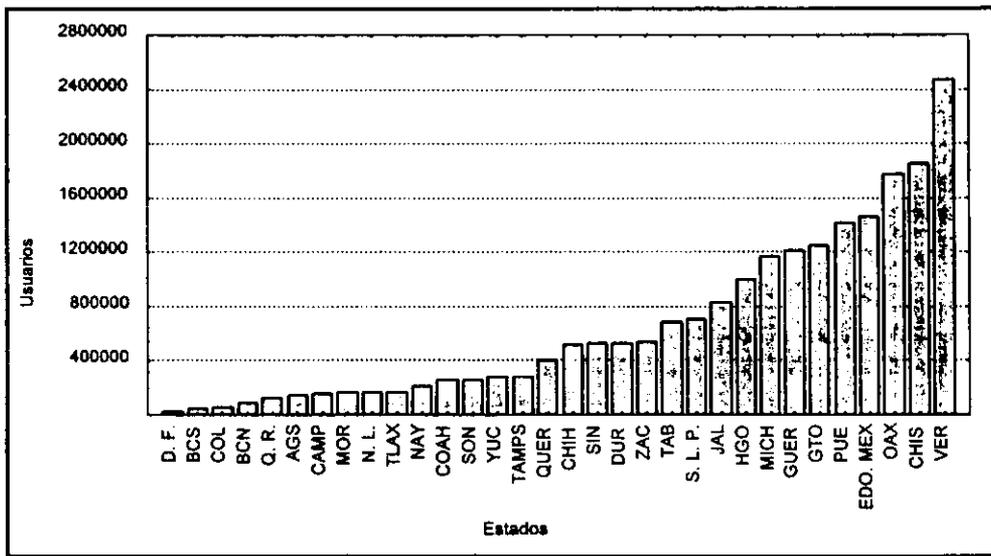
El consumo total de leña en México es resultado de dinámicas muy diferentes tanto en el ámbito regional como en el comunitario (Arias, 1993; Olgún, 1994; Masera, 1995; Masera *et al.*, 1997a; Arias *et al.*, 1997) e incluso entre usuarios de una misma comunidad (IIE, 1986; Masera, 1995; Masera y Navia, 1997). Estas dinámicas dependen de aspectos técnicos, sociales y ambientales; sin embargo, su determinación precisa es muy difícil por la ausencia de datos.

En este estudio proponemos una primera desagregación del consumo nacional a partir de un agrupamiento por estados. A pesar de que existen marcadas diferencias en las condiciones de uso de leña en los diferentes estados del país (Figura 11), es posible realizar una primera clasificación estatal a partir de las similitudes existentes entre ellos.

Específicamente, la mayor demanda de leña la presentan los estados del centro, sur y sureste del país; el Distrito Federal es la entidad con menor consumo de leña para cocción de alimentos y varios estados del norte del país presentan también una baja demanda de leña.

---

<sup>1</sup> En este trabajo denominamos *Región* al grupo de estados que presentan características similares de a) Saturación de los usuarios de leña en el área rural, b) Población que usa leña y c) Tasa Media de Crecimiento Anual de los usuarios de leña.

**Figura 11. Usuarios de leña por estado, México 1990**

Notas: Elaborado a partir de INEGI y del modelo para determinar el consumo de leña. Incluye usuarios mixtos.

Para agrupar estados con diferente dinámica de consumo de leña se construyó un Índice de Consumo Estatal de Leña (ICEL). El ICEL está basado en tres variables que han mostrado influencia crítica en la dinámica e impacto del uso de leña: a) Saturación de usuarios de leña en el área rural, b) Población que usa leña y c) Tasa Media de Crecimiento Anual de los usuarios de leña (TMCA) (Tabla 23).

**Tabla 23. Variables usadas para la estimación del ICEL**

| Dimensión                 | Variable   |
|---------------------------|--|
| Técnica (consumo de leña) | Población estatal de leña, saturación rural de usuarios de leña. |
| Social                    | Crecimiento de los usuarios de leña                              |

#### 4.1.1. Construcción del Índice de Consumo Estatal de Leña "ICEL"

El ICEL se determinó mediante la siguiente relación:

$$ICEL = \sum_i (IS_i * IP_i * IC_i) \quad (18)$$

Donde,  $IS_i$ ,  $IP_i$  y  $IC_i$  son los índices de saturación de usuarios, población y tasa media de crecimiento de usuarios por estado  $i$  respectivamente.

El  $IS_i$  está dado por la relación:

$$IS_i = (S_i / S_{max}) \quad (19)$$

Donde  $IS_i$  tiene valores entre cero y uno,  $S_i$  es la saturación del estado  $i$  (Ags .... Zac);  $S_{max}$  es la saturación estatal más alta. La saturación estatal incluye usuarios de leña y gas. El cálculo se realizó para 1990.

La  $IP_i$  es el índice de población rural que usa leña en cada estado, y su relación es:

$$IP_i = (Pr_i / Pr_{max}) \quad (20)$$

$IP_i$  tiene valores entre cero y uno,  $Pr_i$  es la población rural del estado  $i$ ;  $Pr_{max}$  es el valor estatal mas alto de población rural usuaria de leña. La población rural incluye usuarios mixtos (leña y gas) para 1990.

Finalmente el  $IC_i$  está dado por la relación:

$$IC_i = (C_i / C_{max}) \quad (21)$$

Donde:  $IC_i$  tiene valores entre cero y uno,  $C_i$  es la TMCA de los usuarios de leña;  $C_{max}$  es la TCMA para el estado con mayor crecimiento. La TCMA se calculó para los usuarios totales de leña en el periodo 1980-1990.

#### 4.1.2. Clasificación de estados a partir del "ICEL"

El ICEL permitió ubicar tres grupos de estados característicos por consumo de leña 1) Región poco crítica, 2) Región medianamente crítica y 3) Región crítica.

Los valores del ICEL para cada región se presentan en la siguiente tabla (Tabla 24):

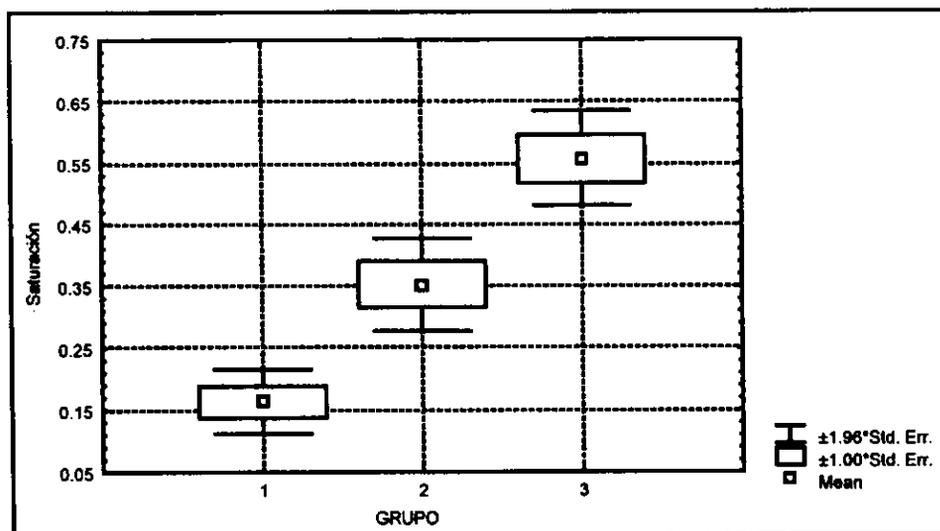
**Tabla 24. Valores del ICEL y agrupamiento**

| Región               | Valor del ICEL           | Número de estados |
|----------------------|--------------------------|-------------------|
| Poco crítica         | $\geq 0.05$              | 11                |
| Medianamente crítica | $0.051 \leq X \leq 0.94$ | 10                |
| Crítica              | $\geq 0.95$              | 11                |

Esta clasificación se corroboró con un análisis de varianza (ANOVA), al 95% de confianza para un  $p < 0.05$ , el cual demuestra que los grupos son estadísticamente diferentes.

En la Figura 12 se muestra que el grupo crítico presenta una saturación promedio de los usuarios de leña de 56%, con valores entre el 48 y 63%. Los grupos poco crítica y medianamente crítica observan una saturación promedio del 35% y 16% respectivamente.

**Figura 12. Saturación de usuarios totales de leña**

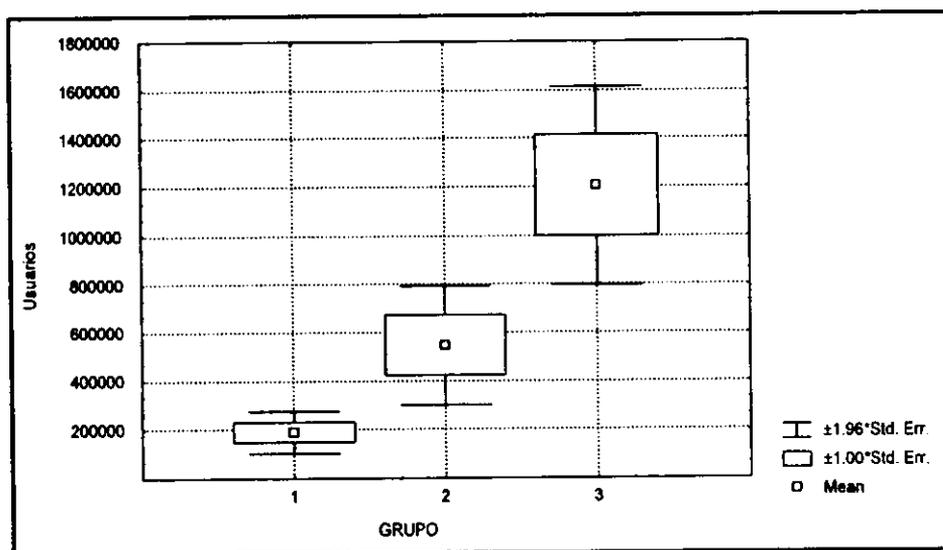


Notas: El grupo 1 se refiere a la región poco crítica, el grupo 2 a la región medianamente crítica y el grupo 3 a la región crítica. Elaboración propia a partir de INEGI y del modelo de demanda de leña.

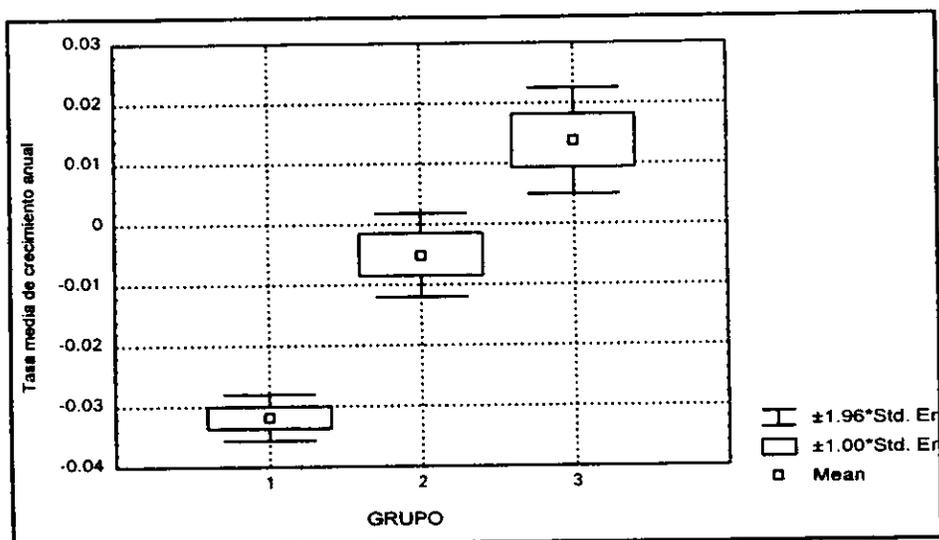
La población rural que utiliza leña como energético principal para la cocción de alimentos en los estados críticos promedia 1.2 millones de habitantes, con valores que oscilan entre 798 mil y 1.6 millones de habitantes. La región poco crítica posee en promedio 190 mil habitantes que usan leña, mientras que la población promedio en los estados de la región medianamente crítica ascienden a 548 mil habitantes (Figura 13).

El valor promedio de la TMCA en la región poco crítica es de -3.2%, para los estados medianamente críticos el valor promedio es -0.5%. Los estados agrupados en la región crítica presentan tasas anuales que van desde 0.5% hasta 2.3%, con un valor promedio de 1.4% al año. (Figura 14).

**Figura 13. Población rural que usa leña, México 1990**



Notas: El grupo 1 se refiere a la región poco crítica, el grupo 2 a la región medianamente crítica y el grupo 3 a la región crítica. Elaboración propia a partir de INEGI y del modelo de demanda de leña.

**Figura 14. Crecimiento de usuarios de leña (1980-1990)**

Notas: El grupo 1 se refiere a la región poco crítica, el grupo 2 a la región medianamente crítica y el grupo 3 a la región crítica. Elaboración propia a partir de INEGI y del modelo de demanda de leña.

#### 4.1.3. Regionalización

Las regiones están integradas de la siguiente manera:

##### **Región poco crítica por consumo de leña**

Aguascalientes, Baja California Sur, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Nayarit, Nuevo León, Sonora y Tamaulipas.

##### **Región medianamente crítica por consumo de leña**

Chihuahua, Durango, Jalisco, Estado de México, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Tlaxcala y Zacatecas.

##### **Región crítica por consumo de leña**

Campeche, Chiapas, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Tabasco, Veracruz y Yucatán.

## 4.2. Evolución de los usuarios de leña por región

La población usuaria de leña muestra diferente comportamiento en cada región, la denominada crítica incluye la mayoría de los usuarios de leña. A continuación se describe el comportamiento de los usuarios de leña en cada región.

### 4.2.1. Región poco crítica

Los usuarios totales de leña disminuyeron de 4.2 a 2.6 millones en el periodo 1960-1990. La población urbana que usa leña pasó de 1.5 millones a 498 mil habitantes; mientras que los usuarios rurales decrecieron de 2.7 a 2.1 millones (Tabla 25).

**Tabla 25. Evolución de los usuarios de leña  
Región poco crítica (1960-1990)**

| Año  | Total usuarios | Usuarios exclusivos de leña |           |           | Usuarios mixtos |         |          |
|------|----------------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------------|---------|----------|
|      |                | Rural                       | Urbano    | Total     | Rural           | Urbano  | Total    |
| 1960 | 4,229,263      | 2,714,063                   | 1,254,518 | 3,968,581 | 9,778           | 250,904 | 260,68   |
| 1970 | 4,362,340      | 2,014,273                   | 1,155,260 | 3,169,533 | 846,229         | 346,578 | 1,192,80 |
| 1980 | 3,557,482      | 1,754,842                   | 632,065   | 2,386,907 | 917,749         | 252,826 | 1,170,57 |
| 1990 | 2,589,068      | 1,005,920                   | 332,320   | 1,338,240 | 1,084,668       | 166,160 | 1,250,82 |

Fuente: Elaboración propia aplicando el modelo de demanda de leña.

Al principio del periodo los usuarios rurales exclusivos de leña representaban el 93.8% del uso total de leña en esta región, ubicándose dos terceras partes de los usuarios exclusivos en el área rural. Para 1990 sólo 1.3 millones de habitantes utilizaban exclusivamente leña para la cocción de sus alimentos (Tabla 25). Por otra parte, los usuarios mixtos se han incrementado considerablemente entre 1960 y 1990 pasando de 260 mil a 1.2 millones de habitantes (Tabla 25). El subsector rural aportaba el 86.7% de usuarios mixtos en 1990.

#### 4.2.2. Región medianamente crítica

Los usuarios totales de leña muestran un comportamiento constante, sólo experimentaron una ligera disminución 6.8 a 6.7 millones de habitantes en el lapso 1960-1990. La población urbana que utiliza leña como fuente de energía decreció de 1.7 a 1.3 millones de habitantes; por otra parte el subsector rural incrementó el número de usuarios de leña de 5.1 a 5.5 millones de habitantes.

Los usuarios exclusivos de leña decrecieron durante el periodo 1960-1990 de 6.5 a 4.0 millones (Tabla 26). El subsector rural comprende la mayor cantidad de usuarios exclusivos de leña, su participación se ha mantenido alrededor del 78%.

Los usuarios mixtos se incrementaron de 285 mil a 2.8 millones de habitantes. En esta región no existían, en 1960, usuarios mixtos rurales, mientras que para 1990 se reportan 2.3 millones de habitantes. Los usuarios urbanos pasaron de 285 mil a 431 mil.

**Tabla 26. Evolución de los usuarios de leña  
Región medianamente crítica (1960-1990)**

| Año  | Total usuarios | Usuarios exclusivos de leña |           |           | Usuarios mixtos |         |          |
|------|----------------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------------|---------|----------|
|      |                | Rural                       | Urbano    | Total     | Rural           | Urbano  | Total    |
| 1960 | 6,805,385      | 5,095,548                   | 1,424,864 | 6,520,412 | 0               | 284,973 | 284,97   |
| 1970 | 7,650,550      | 4,301,432                   | 1,614,792 | 5,916,224 | 1,249,888       | 484,438 | 1,734,32 |
| 1980 | 7,339,731      | 4,002,692                   | 1,081,881 | 5,084,573 | 1,822,406       | 432,752 | 2,255,15 |
| 1990 | 6,767,439      | 3,146,879                   | 861,351   | 4,008,230 | 2,328,533       | 430,676 | 2,759,20 |

Fuente: Elaboración propia aplicando el modelo de demanda de leña.

### 4.2.3. Región crítica

En esta región denominada crítica por consumo de leña, la población que usa este energético aumentó de 12.7 a 17.6 millones de habitantes entre 1960 y 1990 (Tabla 27). El subsector rural ha contribuido en promedio con el 75% de los usuarios a lo largo del periodo. Por otra parte, la población urbana se incrementó de 3.3 a 4.4 millones de usuarios.

Los usuarios exclusivos de leña se incrementaron de 12.1 a 13.3 millones de habitantes. El área rural incluía en 1960 el 64.5% de estos usuarios, mientras que al final del periodo (1990) sólo aportaba el 44.9%. Por su parte el subsector urbano incrementó ligeramente su participación pasando de 2.7 a 2.9 millones habitantes en el lapso 1960-1990 (Tabla 27).

Los usuarios mixtos totales se incrementaron considerablemente a una tasa anual del 7.1%, pasando de sólo 546 mil a 4.3 millones de habitantes.

**Tabla 27. Evolución de los usuarios de leña  
Región crítica (1960-1990)**

| Año  | Total usuarios | Usuarios exclusivos de leña |           |            | Usuarios mixtos |           |          |
|------|----------------|-----------------------------|-----------|------------|-----------------|-----------|----------|
|      |                | Rural                       | Urbano    | Total      | Rural           | Urbano    | Total    |
| 1960 | 12,674,261     | 9,398,622                   | 2,729,699 | 12,128,321 | 0               | 545,940   | 545,94   |
| 1970 | 14,569,018     | 9,240,931                   | 2,926,221 | 12,167,152 | 1,523,999       | 877,866   | 2,401,86 |
| 1980 | 15,905,193     | 9,860,946                   | 2,532,006 | 12,392,952 | 2,499,439       | 1,012,802 | 3,512,24 |
| 1990 | 17,611,800     | 10,416,435                  | 2,900,667 | 13,317,102 | 2,844,364       | 1,450,334 | 4,294,69 |

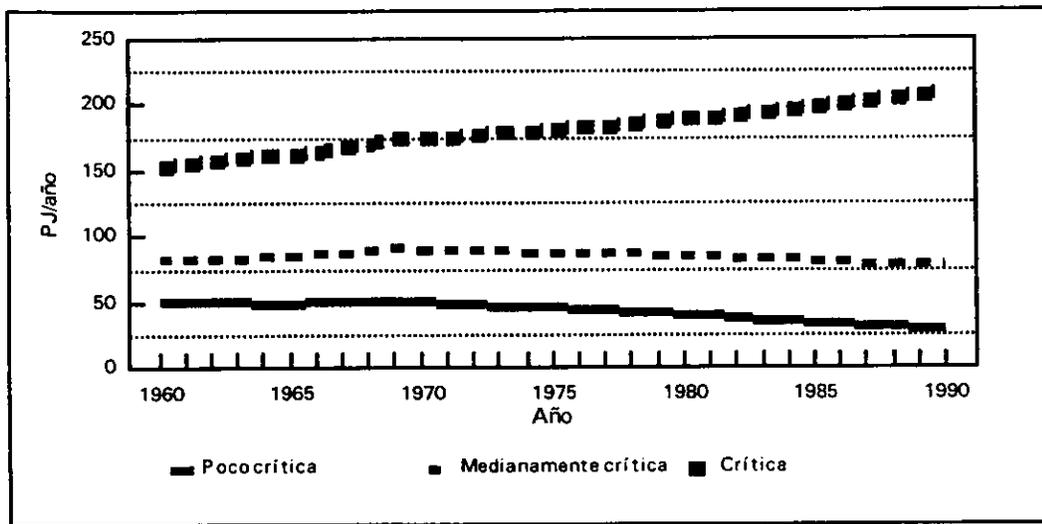
Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de demanda de leña.

### 4.3. Consumo regional de leña

La aplicación del modelo de demanda de leña (ver capítulo II) permitió determinar el consumo energético de leña por regiones.

La Figura 15 ilustra el panorama regional del consumo de leña, las regiones denominadas poco crítica y medianamente crítica presentan tendencias decrecientes, mientras que la región crítica experimenta un constante crecimiento.

**Figura 15. Evolución regional del consumo de leña PJ/año (1960-1990)**



Fuente: Elaboración propia aplicando el modelo de demanda de leña.

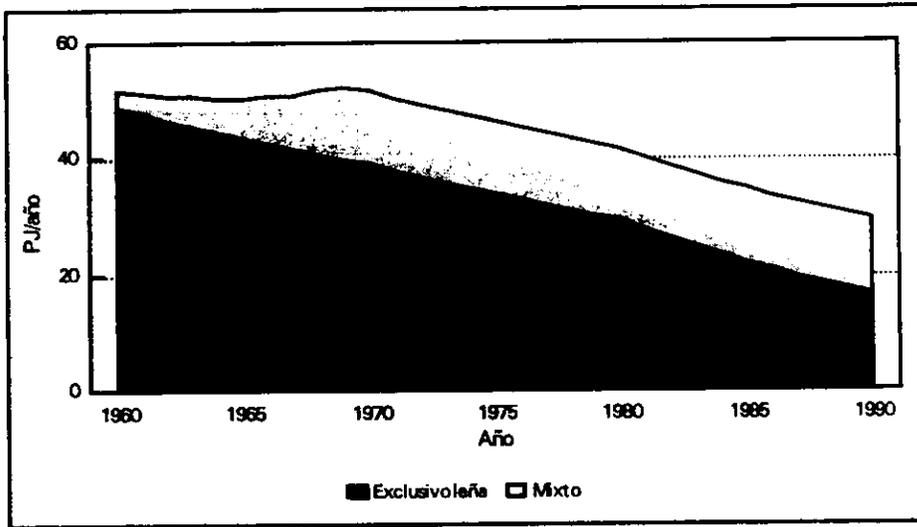
### Región poco crítica

Esta región disminuyó su consumo energético de leña de 51 a 30 PJ/año en el periodo 1960-1990. Los usuarios exclusivos de leña decrecieron su consumo a un ritmo anual del 3.6%, pasando de 48 a 16 PJ/año, mientras que el consumo de los usuarios mixtos se incrementó de 3 a 13 PJ/año (Figura 16)

### Región medianamente crítica

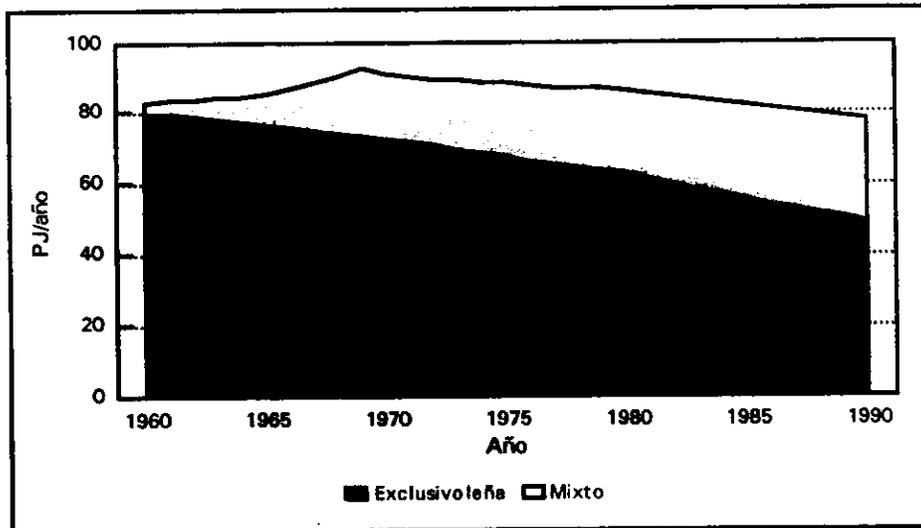
El consumo regional de leña decreció de 83 a 78 PJ/año. Igual que en la Región poco crítica, los usuarios exclusivos de leña disminuyeron su aportación al consumo regional, pasando de 80 a 50 PJ/año. La población que realiza un uso mixto de combustibles incrementó su consumo de 3 a 29 PJ/año (Figura 17).

**Figura 16. Evolución del consumo de leña PJ/año  
Región poco crítica (1960-1990)**



Fuente: Elaboración propia aplicando el modelo de demanda de leña.

**Figura 17. Evolución del consumo de leña PJ/año  
Región medianamente crítica (1960-1990)**

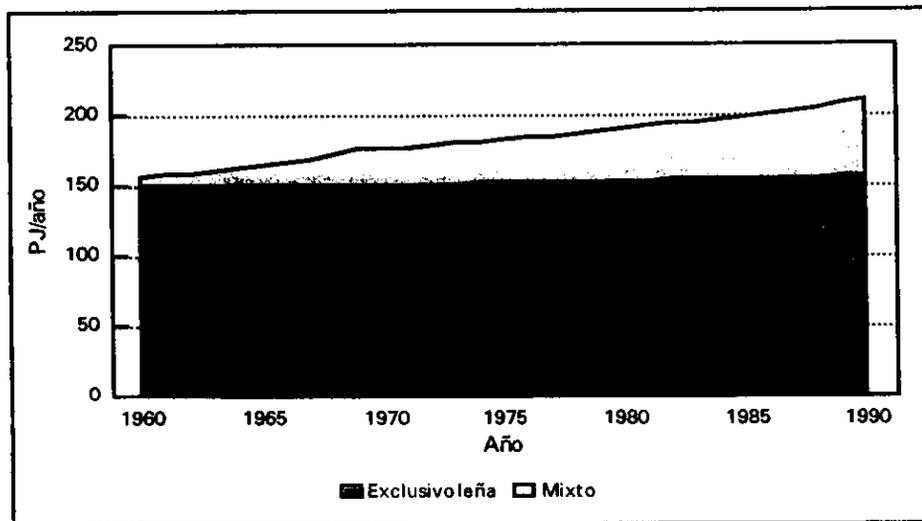


Fuente: Elaboración propia aplicando el modelo de demanda de leña.

### Región crítica

En esta región el consumo de leña se incrementó a un ritmo anual del 1.0%, pasando de 154 a 209 PJ/año. A diferencia de las regiones anteriores, en esta el consumo de leña de los usuarios exclusivos se incrementó de 149 a 155 PJ/año. Por su parte, el consumo de los usuarios mixtos pasó de 6 a 54 PJ/año (Figura 18). La región crítica consume el 66% de la energía proveniente de la leña en el país.

**Figura 18. Evolución del consumo de leña PJ/año  
Región crítica (1960-1990)**



Fuente: Elaboración propia aplicando el modelo de demanda de leña.

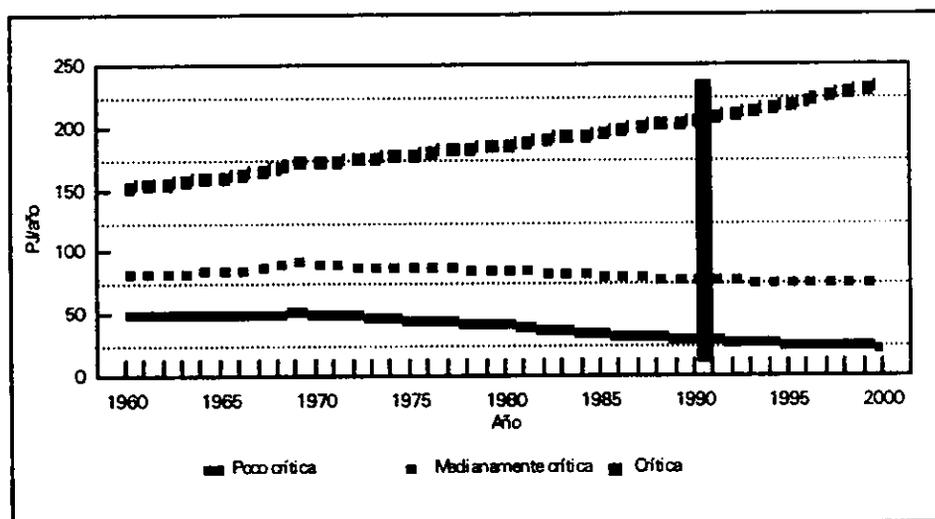
### 4.4. Proyección al año 2000

De continuar la tendencia regional de los usuarios de leña, observada durante el periodo 1980-1990, en cada región se espera el panorama mostrado en la Figura 19. En la región poco crítica la población usuaria de leña disminuirá a 2.1 millones de habitantes con una demanda energética de 23 PJ/año.

Se espera que en el año 2000 la población que usa leña para cocinar en la región medianamente crítica alcance los 6.6 millones de habitantes, los usuarios exclusivos de leña seguirán disminuyendo, mientras que la población mixta de leña alcanzará 3.4 millones de habitantes. El consumo total de leña en la región medianamente crítica será de 74 PJ/año.

Si la tendencia del periodo 1980-1990 continúa, los usuarios de leña para la región crítica ascenderán a 19.6 millones, los cuales consumirán 237 PJ/año.

**Figura 19. Proyección del consumo regional de leña en el año 2000 PJ/año (1960-2000)**



Fuente: Elaboración propia aplicando el modelo de demanda de leña. La línea vertical muestra el inicio de la proyección.

## 4.5. Conclusiones

Es evidente la diferencia que existe entre las tres regiones de análisis, mientras las regiones poco crítica y medianamente crítica presentan una tendencia decreciente del número de habitantes que usan leña, la región crítica experimenta un constante crecimiento de los usuarios de leña.

La saturación rural de usuarios de leña en la región crítica descendió sólo un 7% durante el periodo 1960-1990, al inicio de este lapso toda la población rural usaba leña como fuente de energía y para 1990 el 93% la sigue utilizando como energético principal en la cocción de alimentos. El subsector urbano disminuyó su participación del 63% al 25% en el periodo 1960-1990.

La región crítica demanda el 71% del total de leña en el país, su comportamiento actual indica que en los años siguientes su participación se mantendrá en la misma proporción.

---

El consumo de leña en la región poco crítica decreció de 51 a 30 PJ/año en el periodo 1960-1990, debido a la disminución de los usuarios exclusivos de leña; no obstante, la demanda energética de los usuarios mixtos se incrementó de 3 a 13 PJ/año.

En términos energéticos el consumo de leña en la región medianamente crítica pasó de 83 a 78 PJ/año para el lapso 1960-1990. El comportamiento de los usuarios exclusivos y mixtos fue diferente, en el primer caso el consumo disminuyó de 80 a 49 PJ/año mientras que los usuarios mixtos incrementaron su demanda de 3 a 29 PJ/año.

La regionalización estatal es un primer esfuerzo que permite agrupar a los estados que presentan comportamientos similares en el uso de la leña. Esta regionalización proporciona información detallada del comportamiento de los usuarios de leña y su consumo energético; sin embargo, para tener una mejor perspectiva y poder elaborar políticas energéticas adecuadas, es necesario realizar una desagregación mayor porque como señalan Masera y Ordóñez (1997), existen municipios críticos dentro de las regiones poco y medianamente críticas.

## CAPÍTULO V

# EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO POR EL USO DE LEÑA

En este capítulo se presentan las emisiones de dióxido de carbono generadas por la combustión de leña en el sector residencial. En la primera parte se hace un breve resumen del cambio climático global y los gases de efecto invernadero. Se muestran después las emisiones del sector energético de México, finalmente se estiman las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por la combustión de la leña en el sector residencial.

### 5.1. Cambio climático global y gases de efecto invernadero "GEI"

Se denomina cambio climático al conjunto de transformaciones del clima, atribuibles en forma directa o indirecta a las actividades humanas, que alteran la composición de la atmósfera (Carabias y Tudela, 1999). A pesar de que existe incertidumbre sobre los efectos tanto ecológicos como socioeconómicos del cambio climático global del planeta, sobre todo en el ámbito local y regional, se sabe que el incremento sostenido de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) producirá un aumento en la temperatura superficial del planeta (IPCC, 1996).

Los principales gases de efecto invernadero son: dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, metano CH<sub>4</sub>, óxido nitroso N<sub>2</sub>O, vapor de agua, así como otros gases de origen industrial como los clorofluorocarbonos, perfluorocarbonos o los hidrofluorocarbonos (Carabias y Tudela, 1999).

Se estima que anualmente se emiten entre 10 y 11 Gton<sup>1</sup> equivalentes de carbono de los diferentes gases de invernadero (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y CFC's). El dióxido de carbono es el más importante gas de invernadero resultante de la actividad humana, contribuye con alrededor del 60% del volumen de emisiones, el metano entre el 15% y 19%, los CFC con el 11% y el óxido nitroso entre el 4 y 5% (Maser, 1995b).

De las emisiones de CO<sub>2</sub>, el 75% de las emisiones se genera durante la producción de energía como resultado de la quema de combustibles fósiles (IPCC, 1996). La otra causa mayor en el incremento de la concentración de

---

<sup>1</sup> Una Gton equivale a 10<sup>9</sup> toneladas.

CO<sub>2</sub> es el cambio de uso del suelo, ya que cuando los bosques son convertidos en tierras para agricultura o ganadería, gran parte de este carbono se libera hacia la atmósfera. La vegetación y la tierra de las áreas forestales retienen de 20 a 100 veces más carbono por unidad de área que los sistemas agrícolas, este cambio en el uso del suelo genera aproximadamente el 18% de las emisiones totales (IPCC, 1996).

## 5.2. Emisiones de GEI en México

México contribuye con alrededor del 1.5% de las emisiones mundiales (Masera 1995). Estimaciones preliminares realizadas a partir de datos sobre la producción de energía por fuente, tasa anual de deforestación en el país y las emisiones de CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y CFC's indican que en 1990 se emitieron alrededor de 165 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>, siendo este el gas con la mayor contribución a las emisiones de gases efecto invernadero con un 87% (Masera, 1995).

La contribución del sector residencial a las emisiones de CO<sub>2</sub> oscila entre el 25% (Sheinbaum, 1996) y 27% (Masera, 1993). Para el caso de la leña, Masera *et al.*, (1993) estimaron que la leña aportaba entre 7 y 10 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en 1987. Posteriormente Masera (1993) estimó que las emisiones por el uso de leña oscilaban entre 10.1 y 33.6 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, considerando un uso renovable de la leña del 70% y una forma de obtención no renovable, respectivamente.

## 5.3. Emisiones de CO<sub>2</sub> por el uso de leña en el sector residencial

El uso de biocombustibles en el sector residencial está asociado con una gran cantidad de impactos a la salud de los usuarios y al ambiente. La combustión de la leña libera una gran cantidad de CO<sub>2</sub>, partículas, hidrocarburos aromáticos policíclicos y monóxido de carbono (CO), todos con efectos adversos a la salud y al ambiente.

En general la determinación de las emisiones de gases de efecto invernadero es muy compleja, observándose mayor complejidad en el sector residencial y especialmente para la leña. Un análisis detallado debe incluir una revisión completa del "*ciclo del combustible*", es decir, es necesario conocer las formas de obtención de la leña y sus impactos en los bosques locales (reducción de la capacidad de crecimiento de los árboles, disminución de la regeneración, degradación forestal, erosión del suelo, etc.); el proceso de combustión de la

leña en el uso final, y además la dinámica del proceso de emisión y absorción de gases por los bosques.

En nuestro país se carece de información para realizar una estimación completa de las emisiones producidas por la leña. Sin embargo, en este estudio se hace una estimación preliminar a partir de la información disponible. Las consecuencias ambientales en el ámbito regional, nacional y global por el uso de leña como combustible son función de varios factores, entre ellos destaca la forma de uso de la leña: cuando la extracción supera la capacidad de renovación de los recursos forestales se contribuye a la degradación de los bosques, pérdida de biodiversidad y erosión de los suelos entre otros.

Desafortunadamente no existen estadísticas apropiadas que nos permitan realizar un balance entre producción y consumo de leña en el país. El Anuario Estadístico Forestal (SEMARNAP, 1999) reporta un consumo de productos maderables de 8.3 millones de metros cúbicos de madera en rollo<sup>2</sup> para 1998, estos productos incluyen madera para aserrío, celulosa, tableros, postes y combustibles; este último rubro contribuye según esta fuente, con sólo 400 mil metros cúbicos (4.8%). Por su parte la Norma Oficial Mexicana NOM-012-RECNAT-1996, que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento de leña para uso doméstico (SEMARNAP, 1996), señala que la demanda de madera para leña asciende a 15 millones de metros cúbicos al año.

Mediante la aplicación del modelo para determinar la demanda de leña, propuesto en este estudio, se obtuvo la demanda nacional de leña en toneladas (ton) y en metros cúbicos (m<sup>3</sup>); para 1990 existió una demanda de madera para energía de 19.8 millones de toneladas al año (entre 28.3 y 33 millones de metros cúbicos<sup>3</sup>). De acuerdo con el modelo de demanda de leña, en 1998 se alcanzó un consumo de leña de 20.6 millones de toneladas que en términos volumétricos representan entre 29.4 y 34.3 millones de metros cúbicos; esta cifra supera en más de cuatro veces los datos oficiales del consumo de productos maderables.

Actualmente no se tiene información suficiente que permita calcular la cantidad de leña obtenida en forma renovable. Sin embargo, diversos estudios reportan que la principal forma de obtención de leña, sobre todo en el medio rural, es la recolección. Esta actividad en lugar de perjudicar al recurso forestal, como usualmente se piensa, ayuda a la conservación de los bosques ya que la leña se obtiene principalmente de árboles muertos y ramas secas, evitando las

<sup>2</sup> Madera en rollo: Troncos de árboles derribados o seccionados, con un diámetro mayor a diez centímetros en cualquiera de sus extremos, sin incluir la corteza y sin importar la longitud (SEMARNAP, 1999).

<sup>3</sup> Para convertir a metros cúbicos se utilizó una densidad de 0.7 y 0.6 ton/m<sup>3</sup> respectivamente.

enfermedades e incendios forestales (SEMIP, 1988; Masera 1993; Masera *et al.*, 1997; Arias, 1993; Arias *et al.*, 2000).

La Tabla 28 muestra las principales formas de obtención de leña, se observa que los árboles muertos proporcionan el mayor porcentaje de madera para leña, con valores que oscilan entre el 45.0% y 99.6%. Sin embargo, en los últimos años la leña proveniente de ramas y árboles vivos se ha incrementado, este fenómeno indica una posible reducción del tipo preferido de madera para combustible, el incremento de la distancia de extracción de leña, o la escasez del recurso.

**Tabla 28. Formas de obtención de la leña  
% de hogares**

| Región                         | Árboles muertos | Ramas | Árboles vivos |
|--------------------------------|-----------------|-------|---------------|
| <b>SEMIP (1987)</b>            |                 |       |               |
| Baja California                | 95.4            | 1.1   | 0.6           |
| Pacífico norte                 | 90.9            | 0.0   | 0.5           |
| Norte                          | 98.4            | 0.1   | 1.5           |
| Centro norte                   | 79.2            | 2.3   | 2.3           |
| Golfo norte                    | 99.6            | 0.0   | 0.0           |
| Central                        | 84.5            | 1.0   | 0.5           |
| Pacífico centro                | 92.9            | 2.9   | 0.5           |
| Pacífico sur                   | 81.9            | 2.5   | 13.4          |
| Golfo centro                   | 74.1            | 1.2   | 15.1          |
| Península de Yucatán           | 98.4            | 0.3   | 1.0           |
| Nacional                       | 86.1            | 1.6   | 5.5           |
| <b>Micro región FAO (1997)</b> |                 |       |               |
| Lago de Pátzcuaro, Mich.       | 77.0            | 20.0  | 29.0          |
| Tlapa Guerrero                 | 45.0            | 57.0  | 78.0          |
| Los Altos Mixtepec, Oaxaca     | 96.0            | 78.0  | 3.0           |
| Pajapan, Veracruz              | 56.0            | 64.0  | 5.0           |
| Jicacal, Veracruz              | 97.0            | 21.0  | 0.0           |

Nota: Los porcentajes no suman cien porque son preguntas de opción múltiple. El número entre paréntesis indica el año de estudio. Fuente: Masera (1993), Masera *et al.*, (1997a), Arias *et al.*, (2000).

Adicionalmente, Masera (1996) estimó que en México existe un acelerado proceso de deterioro y pérdida de los recursos forestales, las estimaciones disponibles indican un rango de pérdida de cubierta forestal de 370 mil a 720 mil ha/año; el autor considera que el valor alto es el más cercano a la realidad. Masera (1996) considera que los factores que han incentivado la deforestación

han sido: a) un marco institucional económico contrario al sector forestal y a los dueños de los recursos naturales, b) presiones para la conversión de los bosques a la agricultura y ganadería y c) ineficiencia de la industria forestal y sistemas de manejo de bosques naturales técnicamente muy deficientes.

Asimismo, a partir de la regionalización propuesta por el Inventario Forestal de Gran Visión (SARH, 1992) que divide al país en cuatro grandes zonas: Noroeste, Noreste, Centro y Sureste, Masera (1996) obtuvo las siguientes conclusiones regionales de deforestación:

- a) Un 80% de la deforestación está concentrada en las regiones Centro y Sureste. La deforestación alcanza entre 115 y 135 mil ha/año para bosques y entre 288 y 428 mil ha/año para selvas.
- b) La deforestación tiene diferencias marcadas por estados. Por ejemplo, en Tabasco entre 1940 y 1980 prácticamente se eliminó la superficie de selvas. Michoacán es el estado en donde se registran las tasas más altas de pérdidas de bosques (con más de 50 mil ha/año), mientras que Campeche y Quintana Roo registran la pérdida más extensa de selvas (entre 50 y 80 mil ha/año).

Las regiones Centro y Sureste, que son las que presentan las mayores tasas de deforestación, comprenden los estados considerados críticos por su consumo de leña, en este estudio.

Varios autores (Arias, 1993; Olgún, 1994; Masera 1993 y 1996; Masera *et al.*, 1997; Arias *et al.*, 2000), coinciden en que la extracción de madera no es causa principal de la deforestación, sino al contrario, la deforestación ocasiona escasez de leña. En otras palabras, la elevada tasa de deforestación ocasiona que la extracción de leña, con el paso de los años, se vuelva no renovable.

Tomando como base los datos de la tabla 28, se determinó la forma de obtención de leña para las tres regiones consideradas en nuestro estudio. La tabla 29 muestra las principales formas de obtención de la leña para nuestras regiones de análisis. Sin embargo es necesario recalcar que los estudios recientes (Tabla 28) indican que la leña que proviene de árboles vivos se ha incrementado. Para este análisis se consideró que existe un porcentaje de leña que se extrae de forma renovable, a este factor se le denominó índice de renovabilidad del uso de leña (IRUL); se asignó un valor al IRUL en cada región para 1990, de la siguiente manera:

- i) Región poco crítica, el IRUL oscila entre 90% y 100%.
- ii) Región medianamente crítica, el IRUL se encuentra entre el 80% y 100%.
- iii) Región crítica, con un IRUL entre el 60% y el 80%.

**Tabla 29. Formas de obtención de leña por región  
% de hogares**

| Región               | Árboles muertos | Ramas | Árboles vivos |
|----------------------|-----------------|-------|---------------|
| Poco crítica         | 93.0            | 0.7   | 1.7           |
| Medianamente crítica | 89.3            | 1.4   | 3.8           |
| Crítica              | 86.0            | 1.7   | 6.8           |

Notas: Elaboración propia a partir de Masera (1993) y SEMIP (1988).

Las emisiones generadas por la combustión de leña se calcularon utilizando la metodología propuesta por el IPCC (1995), la cual considera que este biocombustible posee una fracción de carbón que oscila entre 0.45 y 0.5 y que la fracción de oxidación es del 87%. Tomado el valor más alto para la fracción de carbono y a partir de estas suposiciones de renovabilidad, las emisiones de CO<sub>2</sub> en el país ascienden a 10.2 millones de toneladas en el escenario de baja renovabilidad y 4.2 millones de toneladas con una alta tasa de renovabilidad. La región crítica contribuye con el 85% y 100% de las emisiones en los escenarios respectivos.

La región crítica presenta emisiones que van desde 4.2 hasta 8.3 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. La contribución de las regiones poco y medianamente críticas oscila entre 0 y 0.3 millones, y de 0 a 1.6 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> (Tabla 30).

**Tabla 30. Emisiones de CO<sub>2</sub> por región  
(miles de ton de CO<sub>2</sub>/año)**

| Año  | Poco crítica |            | Medianamente crítica |            | Crítica   |           | Nacional  |           |
|------|--------------|------------|----------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|      | IRUL = 90    | IRUL = 100 | IRUL = 80            | IRUL = 100 | IRUL = 60 | IRUL = 80 | IRUL bajo | IRUL alto |
| 1990 | 295          | 0          | 1,558                | 0          | 8,326     | 4,163     | 10,179    | 4,163     |
|      |              |            |                      |            |           |           |           |           |

Nota: Las emisiones nacionales para el escenario bajo se refieren al IRUL con menor porcentaje de renovabilidad. Los valores del IRUL están en porcentaje. En gris se muestran las emisiones para el año 2000.

## 5.4. Conclusiones

La leña para consumo doméstico no es un factor determinante de la degradación forestal, sin embargo debido a la gran extracción de madera comercial, se espera una disminución de los bosques y como consecuencia la extracción de leña puede provocar daños a los recursos forestales. El uso de leña no renovable lleva a emisiones netas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

De acuerdo a los datos generados por este estudio, se estima que en 1990 la leña contribuyó con alrededor de 4.16 y 10.18 millones de ton de CO<sub>2</sub> emitidas a la atmósfera. Estas cantidades representan aproximadamente entre el 0.9 y 2.3% del total de las emisiones del país respectivamente, considerando que las emisiones totales de CO<sub>2</sub> son de 444.49 millones de toneladas (SEMARNAP, 1997). Este porcentaje es inferior al reportado por esta dependencia que considera que las emisiones provenientes de los biocombustibles, siendo el principal la leña, alcanzan el 6.4% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub>.

Debido a las incertidumbres existentes en las tasas de extracción no renovable de leña, la estimación de la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido en forma neta a la atmósfera por la combustión de leña presentada en este estudio debe tomarse como un primer esfuerzo que deberá precisarse mejor en el futuro.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

## CONCLUSIONES

En este trabajo se analizó el comportamiento de los usuarios de leña en el país y su demanda energética para el periodo 1960-1990, se realizó también una proyección al año 2000 tanto para la población que usa leña como para el consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a su uso.

A continuación se exponen las principales conclusiones del estudio, tanto en el aspecto metodológico como en lo referente a los resultados obtenidos.

### Enfoque de "usos finales"

Este estudio se sustentó en la metodología de "usos finales" que permite determinar el consumo de energía a partir de las necesidades o tareas energéticas. Dicho enfoque resultó muy conveniente para determinar el consumo energético del sector residencial ya que permite un mayor grado de desagregación, en nuestro caso por subsector rural y urbano y por tipo de usuario (exclusivos de leña y mixtos -leña y gas-). Además esta metodología permite un grado de desagregación mayor en la medida que se cuente con información detallada, proporcionando resultados cada vez más cercanos a la realidad.

### Metodología confiable

Los resultados del estudio se respaldan en un modelo coherente, parametrizado con valores representativos para las tres variables principales que determinan el consumo residencial de leña:

- i) **Saturación de usuarios de leña:** el número de usuarios exclusivos de leña se obtuvo de los censos generales de población del INEGI, para los usuarios mixtos se realizaron consideraciones fundamentadas en estudios de caso y en la encuesta nacional de la SEMIP (1998).
- ii) **Consumo Unitario:** el consumo unitario de leña (CU) se determinó a partir de datos reportados por estudios confiables. Para los usuarios exclusivos de leña, CU se obtuvo de promediar valores reportados por estudios de caso en los cuales se realizó medición directa del consumo de leña. Para los usuarios mixtos se determinó el porcentaje de ahorro por el uso dual de combustibles, este ahorro se calculó a partir de

consumos obtenidos para usuarios mixtos de leña en diferentes estudios comunitarios.

- iii) **Poder calorífico de la leña:** para la determinación del PC de la madera usada como combustible se consideró un gran número de datos del contenido de humedad para distintas maderas en condiciones de uso, posteriormente se calculó el PC superior.

## Principales resultados

Según nuestro modelo, la leña es aún el energético predominante en el sector residencial, en 1990 26.9 millones de personas la utilizaban como principal combustible; es decir, una tercera parte de la población nacional dependía de la leña para satisfacer sus necesidades energéticas residenciales.

El 89% de la población rural utiliza leña como fuente de energía para la preparación de alimentos principalmente, ya sea como combustible único o complementándolo con gas. En el subsector urbano el 11% de la población usa este energético para el mismo uso final.

En números absolutos, estimamos que los usuarios totales de leña se incrementaron en 3.3 millones de 1960 a 1990. Este crecimiento es resultado de dinámicas comunitarias y regionales diferentes.

Por un lado, se ha verificado un ligero descenso de los usuarios exclusivos de leña en el periodo analizado, tanto en el sector rural como en el urbano. De hecho, el porcentaje de la población que usa únicamente leña en el área rural pasó de 100% en 1960 a 63% en 1990, el descenso en términos poblacionales es de 3.9 millones de habitantes. Los usuarios urbanos exclusivos de leña también han disminuido pasando de 5.4 a 4.1 millones de habitantes, respecto a la población urbana representan el 31% y 7% para 1960 y 1990 respectivamente.

Por otro lado, los usuarios mixtos se incrementaron hasta representar el 10% de la población nacional en 1990, para un total de 8.3 millones; 6.3 en el sector rural y 2 millones en el urbano.

Esto reafirma las conclusiones de otros estudios (Masera, 1993, 1995; Sheinbaum 1996) sobre la necesidad de incluir a los usuarios mixtos en los análisis de los usuarios de leña.

Es importante recalcar que el consumo nacional de leña no varía al mismo ritmo que los usuarios totales de leña, debido a que los usuarios duales leña y

gas, que son los que han experimentado un mayor crecimiento, consumen menor cantidad de leña que los usuarios exclusivos.

El ahorro de leña que obtienen los usuarios mixtos es relativamente pequeño, 16% en promedio, esto se debe principalmente a que las tareas que demandan mayor cantidad de energía se siguen realizando con leña. *El gas LP, más que ser un combustible sustituto de la leña es un combustible complementario.*

En otras palabras, contrariamente a lo que se considera convencionalmente la sustitución de leña por gas no resulta en ahorros importantes del primer combustible, entre otras cuestiones por el fuerte arraigo cultural y por la carencia de infraestructura adecuada para la distribución de gas LP. En este sentido, *los usuarios mixtos, deben considerarse un objetivo importante de las políticas de ahorro de leña.*

### **Serie histórica**

El consumo de leña obtenido mediante la aplicación del modelo proporciona datos más reales y confiables que los valores reportados por el Balance Nacional de Energía (BNE) de la Secretaría de Energía. Para 1990 nuestro análisis proporciona un consumo nacional de 316 PJ/año, mientras el BNE reporta un consumo igual a 233 PJ/año.

Si únicamente consideramos los usuarios exclusivos de leña que reportan los censos generales de población elaborados por el INEGI, el consumo energético de leña ascendería a 229 PJ/año que representa el 72% de nuestra estimación. Esto indica que los usuarios mixtos demandan el 28% de este energético en el país, por lo que es indispensable contabilizarlos en los censos generales de población.

El BNE reporta una contribución de la leña al sector residencial del 39% para 1990. Nuestro modelo indica que para ese mismo año, la participación de la leña es del 46%, de continuar esta tendencia de consumo se espera que en el año 2000 la leña aporte el 40% de la energía residencial.

En términos generales podemos afirmar que existe una subestimación del consumo nacional de leña en el sector residencial. Por ello es indispensable adoptar modelos con mayor desagregación como el generado en este trabajo, para reflejar el consumo real de leña, su importancia como energético y su verdadera contribución al balance nacional de energía. Esto puede facilitar la elaboración y aplicación de políticas que conduzcan al ahorro de energía tanto en el sector rural como en el urbano, además de los beneficios sociales y ambientales que se generarían por el uso sustentable de la leña.

## Regionalización

El uso de leña en el país presenta diferentes dinámicas regionales y comunitarias. La regionalización permite conocer con mayor detalle el comportamiento de los usuarios de leña. La clasificación propuesta en este trabajo parte de variables que han probado una influencia crítica en la dinámica del uso de la leña y arroja las siguientes conclusiones.

Existe una alta concentración de los usuarios de leña en los estados de Campeche, Chiapas, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Tabasco, Veracruz y Yucatán<sup>1</sup> que pertenecen a la región denominada crítica por consumo de leña. Estos estados presentan el mayor número de usuarios rurales, la mayor población total usuaria de leña y la tasa de crecimiento más alta, se ubican en el centro, sur y sureste del país. Esta región consume el 66% de la energía nacional aportada por la leña.

Estos resultados indican que es necesario profundizar el análisis en los estados comprendidos en esta región para elaborar políticas que conduzcan a un mejor uso de los recursos energéticos locales, permitan conservar los recursos naturales y sobre todo que eleven la calidad de vida de la población rural.

El consumo de leña en la región poco crítica decreció de 51 a 30 PJ/año en el periodo 1960-1990. La demanda de los usuarios exclusivos de leña disminuyó de 49 a 16 PJ/año, mientras que los usuarios mixtos incrementaron su consumo de 3 a 13 PJ/año.

En términos energéticos el consumo de leña en la región medianamente crítica pasó de 83 a 78 PJ/año para el lapso 1960-1990. El comportamiento de los usuarios exclusivos y mixtos fue diferente, en el primer caso el consumo decreció de 80 a 49 PJ/año mientras que los usuarios mixtos incrementaron su demanda de 3 a 29 PJ/año.

La regionalización estatal es un primer esfuerzo que permite generar un panorama más amplio de la dinámica del consumo de leña; sin embargo, para tener una mejor perspectiva y poder elaborar políticas energéticas adecuadas, es necesario realizar una desagregación mayor porque como señalan Masera y Ordóñez (1997), existen municipios críticos por consumo de leña dentro de las regiones poco y medianamente críticas.

---

<sup>1</sup> Los estados están en orden alfabético.

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

La leña para consumo doméstico no es un factor determinante de la degradación forestal, sin embargo debido a la gran extracción de madera comercial, se espera una disminución de los bosques y como consecuencia la extracción de leña puede provocar daños a los recursos forestales. El uso de leña no renovable lleva a emisiones netas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

De acuerdo a los datos generados por este estudio, se estima que en 1990 la leña contribuyó con alrededor de 4.16 y 10.18 millones de ton de CO<sub>2</sub> emitidas a la atmósfera. Estas cantidades representan aproximadamente entre el 0.9 y 2.3% del total de las emisiones del país respectivamente, considerando que las emisiones totales de CO<sub>2</sub> son de 444.49 millones de toneladas (SEMARNAP, 1995). Este porcentaje es inferior al reportado por esta dependencia que considera que las emisiones provenientes de los biocombustibles, siendo el principal la leña, alcanzan el 6.4% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub>.

Debido a las incertidumbres existentes en las tasas de extracción no renovable de leña, la estimación de la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido en forma neta a la atmósfera por la combustión de leña presentada en este estudio debe tomarse como un primer esfuerzo que deberá precisarse mejor en el futuro.

## Recomendaciones

Para mejorar los resultados obtenidos en el presente trabajo sería conveniente:

- i) Ante la gran variabilidad del consumo de leña, es necesario realizar estudios con un mayor nivel de desagregación geográfica del uso de la leña, por ejemplo a nivel municipal, comunitario y por Área Geoestadística Básica (AGEB). Esto permitirá usar valores con mayor representatividad para cada una de las variables que determinan el consumo de leña.
- ii) Es indispensable también, determinar el consumo de leña de la pequeña industria (PI), ya que su demanda es significativa. Además la leña que se utiliza en la PI comúnmente proviene de árboles en pie, es decir, la demanda de la PI contribuye generalmente a la degradación de los recursos forestales.

Otro aspecto fundamental es la contabilización de los usuarios mixtos de leña tanto en los censos y estadísticas que realiza el INEGI, como en los estudios sobre los patrones del uso de leña que realizan instituciones gubernamentales, educativas y no gubernamentales.

Finalmente, para mejorar la sustentabilidad del consumo de leña es indispensable la aplicación de programas de uso eficiente de la madera para energía que conlleven al mejoramiento de las condiciones familiares (salud, economía), locales (mejoramiento de las condiciones de los bosques) y globales (disminución de los gases de efecto invernadero). Algunas de las medidas pueden ser:

- Difusión de estufas eficientes de leña.
- Reforestación con especies locales usadas como combustible.
- Aprovechamiento de los desechos de aserraderos.
- Introducción de estufas solares.

Sin embargo, estas medidas sólo pueden implantarse como resultado de un intenso programa de información y educación, en el cual se muestren las ventajas y beneficios que proporcionan los programas o tecnologías eficientes. Además es necesario diseñar políticas que incentiven la adopción masiva de estos sistemas de uso eficiente de la energía.

## REFERENCIAS

- Almeida, R. S. 1990. "Análisis calorimétrico de cinco especies vegetales que se utilizan como leña". Tesis de licenciatura en biología. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F.
- Álvarez, A. 1991. Evaluación del consumo y comercialización de leña y carbón en Tlaquiltenago, Morelos. Tesis de licenciatura en ingeniería forestal. Universidad Nacional Autónoma de Chapingo. Chapingo, México.
- Arias, T. 1993. "Manejo y consumo de leña en un municipio rural de subsistencia: Alcozauca, Guerrero". Tesis licenciatura en biología. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. F.
- . 1995. "Manejo, consumo y disponibilidad de leña en la región de la montaña de Guerrero. Fundamentos metodológicos de un diagnóstico regional para la planificación de programas de abasto energético". Facultad de Ciencias UNAM. México D.
- . 1995a. "San Nicolás Zoyatlán: el problema de la escasez de leña en una comunidad Náhuatl de la región de la Montaña de Guerrero". Facultad de Ciencias, UNAM. México, D. F.
- Arias, T., P. Padilla, y E. Riegelhaupt E. 1997. Dendroenergía para el Desarrollo Rural, Proyecto: FAO/MEX/TCP/4553(A) "Consumo y flujos de leña y otros combustibles en la micro-región Tlapa de Comonfort, Guerrero. México, D. F.
- Arias, T., P. Yllescas, y J. R. Flores. 2000. "Consumo y disponibilidad de leña en tres micro-regiones de Chiapas, Veracruz y Campeche. Diagnóstico correspondiente a Veracruz". Programa de Acción Forestal A. C (PROAFT). México, D. F.
- Baldwin, S. 1986. "Biomass Stoves: Engineering Design, Development, and Dissemination". Report No. 224. Center for Energy and Environmental Studies, Princeton University, Princeton, New Jersey.
- Camacho, J. R. 1985. "Estudio del uso del bosque para extracción de leña, madera para construcción de casas y fabricación de herramientas en una comunidad Otomí, San Andrés Timilpan, Estado de México". Tesis licenciatura biología. ENEP-Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F.
- Carabias, J. y F. Tudela. 1999. "El cambio climático: el problema ambiental del próximo siglo". Desarrollo Sustentable No. 9. México D. F.

- Castillo, C. M., Ramírez, G. J. A. y Aparicio, G. E. 1990. "Marco de referencia preliminar sobre el uso de leña combustible en el altiplano potosino". Primera Reunión Nacional sobre Dendroenergía. Memorias, Compilador Fernando Zavala Ch. División de Ciencias Forestales, UACH. Chapingo, México.
- Castillo, P. E., P. Lehtonen, M. Simula, V. Sosa, y R. Escobar. 1989. "Proyecciones de los principales indicadores forestales de México a largo plazo (1988-2012)". Reporte interno, subsecretaría Forestal. Proyecto de cooperación México-Finlandia. SARH, México D. F.
- Centro de Ecodesarrollo, A. C. (CECODES) 1987. Documento No. 9: "Síntesis del proyecto: energización rural en la Mixtecas Oaxaqueñas alta y baja". México, D. F.
- Charless J., 1994. "Energía Renovable. Guía de alternativas ecológicas". Edamex. México, D. F.
- Díaz-Jiménez, R., y O. Masera. 1999. "El consumo de leña en México: principales implicaciones y evolución". XXIII Semana Nacional de Energía Solar, Asociación Nacional de Energía Solar (ANES). Editores: Rincón M. E., G. Álvarez, y R. Dorantes. Morelia, Michoacán.
- Dutt, G., J. Navia, y C. Sheinbaum. 1989. "Cheranatzicurin: tecnología apropiada para cocinar con leña". *Ciencias*, No. 15, pp. 43-47.
- Echenique, R. 1982. "Características de la madera y su uso en la construcción. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales". México D. F.
- 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.
- Farfán, E., A. Sánchez, y M. Moreno. 1990. "Estudio de cuatro especies de valor dendroenergético del Alto Balsas Poblano". *Primera Reunión Nacional sobre Dendroenergía*. Memorias, compilador Fernando Zavala Ch. División de Ciencias Forestales, UACH. Chapingo, México.
- Frausto, L. J. M., FAO, y SARH. 1991. "La leña para producción de energía: información sintética. Cinco estudios de caso sobre el uso de dendroenergía en industrias rurales de México". Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile.
- Gúzman, O. M., A. Yúnez-Naude, y M. S. Wionczek. 1985. "Uso eficiente y conservación de la energía en México: diagnóstico y perspectivas". El Colegio de México. México D. F.
- Grupo de Energética. 1984. "Uso eficiente de los recursos naturales en la comunidad de La Guacamaya". Departamento de Física, Facultad de Ciencias, UNAM (no publicado).

- Grupo interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada A. C. (GIRA). 1991. "Difusión de tecnologías apropiadas en la meseta purépecha". Reporte final para el International Development and Research Centre (IDRC), Uruapan, Mich.
- Hall, O., y J. I. House. 1993. "Biomass as a Modern Fuel". IEA Bioenergy Environmental Impact Seminar.
- Horta Nogueira, L., y M. A. Trossero. 1998. "Introducing WEIS: the FAO Wood Energy Information System". Biomass Energy: Data, Analysis and Trends. IEA. París, Francia.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1983. "X Censo general de población y vivienda y vivienda 1982". Aguascalientes, Ags.
- INEGI. 1992. "XI Censo general de población y vivienda y vivienda 1990". Aguascalientes, Ags.
- Instituto Mexicano del Petróleo. 1987. "Caracterización energética del sector doméstico: informe final". Subdirección de Investigaciones Económicas y Desarrollo industrial, División de Estudios Energéticos. México, D. F.
- Instituto de Investigaciones Eléctricas. 1984. "Resumen de estudios de caso". IIE/10/14/3780/1-15/P. División Fuentes de Energía, Departamento de Fuentes no Convencionales. Cuernavaca, Morelos.
- — — 1986. "Estructura del consumo energético rural en las tres regiones de la macro región sur". IIE/10/14/2051/I-02/A1/F. División Fuentes de Energía, Departamento de Fuentes no Convencionales. Cuernavaca, Mor.
- IPCC. 1996. Climate Change 1995. The IPCC Second Assessment Report. Cambridge University Press. New York.
- IPCC. 1995. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook. IPCC-OECD, Ginebra.
- Martínez, A. M. 1987. "La energía en el medio rural de la macro-región sur de México". XI Reunión Nacional de Energía Solar. ANES. Cuernavaca, Mor.
- — —. 1986. "Implicaciones ambientales del aprovechamiento de la biomasa". Energía y medio ambiente. Memorias. Facultad de Ingeniería, Programa Universitario de Energía, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. PUE-UNAM. México D. F.
- Martínez, M. 1992. "Especies vegetales como recurso energético de uso doméstico en Zozocolco de Hidalgo, Veracruz". Tesis licenciatura en biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México D. F.

- Masera, O., R. S. Almeida, J. Cervantes, J. F. Garza, C. Juárez, M. A. Martínez y C. Sheinbaum. 1987. "Energy and Use Patterns and Social Differences: A Mexican Village Case Study". Intentional Development Research Center (IDRC), Manuscripts Reports No. IDRC-MR-215e. Ottawa, Canadá.
- Masera, O., y R. Friedmann, y O. de Buen. 1993. Residential Energy Use in Mexico, Structure, Evolution, environmental Impacts, and Savings Potential. Lawrence Berkeley Laboratory, University of California, Berkeley, California.
- Masera, O. 1993. "Sustainable Fuelwood Use in Rural Mexico, Volume I: Current Patterns of Resource Use". Lawrence Berkeley Laboratory, University of California, Berkeley, California.
- . 1995. "Socioeconomic and Environmental Implications of Fuelwood Use Dynamics and Fuel Switching in Rural Mexico." University of California, Berkeley, California.
- . 1995a. "México y el cambio climático global. El papel de la eficiencia energética y alternativas de manejo forestal en la reducción de emisiones de bióxido de carbono". En Energía y medio ambiente, una perspectiva económico-ecológica, coord.. Jardón, J. J. Plaza y Valdés, México D. F.
- . 1996. "Desforestación y degradación forestal en México". Documento de trabajo No. 19. GIRA A. C. Pátzcuaro Michoacán.
- . 1997. "Uso y conservación de energía en el sector rural: el caso de la leña". Documento de Trabajo No. 21. GIRA, A. C., Pátzcuaro, Mich.
- Masera, O. y J. Navia. 1997. "Fuel Switching or Multiple Cooking Fuels? Understanding Inter-Fuel Substitution Patterns in Rural Mexican Households". Biomass and Bioenergy, Vol 12, No. 5, pp. 347-361. Elsevier Science Ltd. Great Britain.
- Masera, O., J. Navia, J. C. Cedeño y S. Ochoa. 1997. Proyecto: FAO/MEX/TCP/4553(A). "Compendio metodológico y de resultados". Pátzcuaro, Michoacán.
- Masera, O., J. Navia., T. Arias y E. Riegelhaupt. 1997a. Proyecto: FAO/MEX/TCP/4553(A): Dendroenergía para el desarrollo rural. "Patrones de consumo de leña en tres micro-regiones de México: síntesis de resultados". Pátzcuaro, Michoacán.
- Masera, O., J. Navia, J. C. Cedeño, S. Ochoa y G. Ruíz. 1997b. Proyecto: FAO/MEX/TCP/4553(A). Dendroenergía para el desarrollo rural. "Consumo y flujos de leña en la micro-región Lago de Pátzcuaro, Michoacán". Pátzcuaro, Michoacán.

- Masera, O. y Ordóñez M. J. 1997. "Proyecto: FAO/MEX/TCP/4553(A). Dendroenergía para el desarrollo rural. "Determinación de Municipios Críticos por Consumo de Leña". Pátzcuaro, Michoacán.
- Morán O. y J. R. Pérez-Padilla. 1992. "Enfermedades Respiratorias Causadas por la Inhalación Doméstica del Humo de Leña y de Otros Materiales Biológicos". Primera reunión internacional sobre energía y medio ambiente en el sector residencial mexicano. Ed. J. Quintanilla. Programa Universitario de Energía, UNAM y Lawrence Berkeley Laboratory, Energy and Resources Group, Univeristy of California. México D. F.
- Moreno, A. M., y M. S. Garay. 1990. "Uso de plantas para combustible en dos comunidades Nahuas: Santa María Cuauhtapanaloyan y Santiago Yancuictlalpan, Municipio de Cuetzalan, Puebla". Primera Reunión Nacional sobre Dendroenergía. Memorias, Compilador Fernando Zavala Ch. División de Ciencias Forestales, UACH. Chapingo, México.
- Navia, J. 1992. "Estufas mejoradas: programa de difusión en Cheran Atzicurin". Primera reunión internacional sobre energía y medio ambiente en el sector residencial mexicano. Ed. J. Quintanilla. Programa Universitario de Energía, UNAM y Lawrence Berkeley Laboratory y Energy and Resources Group, Univeristy of California. México D. F.
- Olguín, E. 1994. "Evaluación y optimización del uso de la leña a nivel familiar y de pequeñas industrias rurales". Instituto de Ecología, A.C. Jalapa, Veracruz.
- Organización Ribereña contra la Contaminación del Lago de Pátzcuaro (ORCA). 1989. "Estudio sobre el uso de leña en la región. ORCA. Pátzcuaro, Michoacán.
- Priddle, R. 1997. "Biomass Energy: Key Issues and Priority Needs. Coference Proceedings. Executive Director. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) and International Energy Agency (IEA). Febrero 3-5. París Francia.
- Purata, S. 1999. "Consumo de leña en Las Cruces y San Juan Otontepec, Veracruz." Correspondencia personal.
- Quintanilla J. 1992. "Primera reunión internacional sobre energía y medio ambiente en el sector residencial mexicano". Programa Universitario de Energía (PUE), UNAM UNAM y Lawrence Berkeley Laboratory y Energy and Resources Group, Univeristy of California. México D. F.
- Reddy, A. K. N. 1989. "A Development-focussed End-use-oriented Energy Plan for Karnataka. Internal Report. Department of Management Studies. Indian Institute of Sciences. Bangalore.
- Reiche C. 1990. "El Uso de la Leña en Industrias Rurales de América Central". FAO, Forest Products Division. Santiago, Chile.

- Riegelhaupt E. 1996., Proyecto: FAO/MEX/TCP/4553(A). Dendroenergía para el desarrollo rural. "Situación dendroenergética en México", FAO. México, D. F.
- Sánchez, G. C. 1991. "Uso y Manejo de la leña en X-Uilub, Yucatán". Tesis maestría en ciencias. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Sánchez V. A., y F. A. Domínguez. 1989. "Principales especies aprovechadas para leña en el Alto Balsas Poblano". Primera Reunión Nacional sobre Dendroenergía. Memorias, compilador Fernando Zavala Ch. División de Ciencias Forestales, UACH. Chapingo, México.
- Schipper, L., A. Ketoff, y A. Kahane. 1985. Explaining Residential Energy Use by International Bottom-Up Comparisons. *Annual Review of Energy*. Vol 1. No. 10: 341-405.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1981. "Consumo doméstico de madera para combustible". Subsecretaría Forestal y de la Fauna. SARH, México, D.F.
- (SARH). 1992. "Inventario nacional de gran visión". SARH, México, D.F.
- Secretaría de Energía (SE). 1997. "Balance nacional de energía". México D. F.
- Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal (SEMIP). 1988. "Energía rural en México". (10 volúmenes). México D. F.
- Secretaría de Industria y Comercio (SIC). 1963. "VIII Censo general de población y vivienda, 1960". Aguascalientes, Ags.
- SIC. 1973. "IX Censo general de población y vivienda, 1970". Aguascalientes, Ags.
- Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). 1996. Norma NOM-012-RECNAT-1996, Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento de leña para uso doméstico. SEMARNAP, México D. F.
- SEMARNAP. 1997. México, primera comunicación nacional ante la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. SEMARNAP, México D. F.
- SEMARNAP. 1999. "Anuario Estadístico Forestal, 1998". SEMARNAP, México D. F.
- Sheinbaum, C. 1996. "Tendencias y perspectivas de la energía residencial en México. Análisis comparativo con las experiencias de conservación de los países de la OCDE". Programa Universitario de Energía (PUE), Documentos de análisis y prospectiva del PUE. UNAM. México, D. F.

- Smith, K. R. 1987. "Biofuels, Air Pollution, and Health. A Global Review". Eds. Lester R. K. y Adelin J. Plenum Press. New York.
- Toledo, V. M., J. Carabias, C. Toledo, C. González-Pacheco. 1989. "La producción rural en México: alternativas ecológicas". Colección Medio Ambiente No. 6. Fundación Universo Veintiuno. México, D. F.
- Trossero, Miguel Angel. 1997. "FAO's Wood Energy Statistics". Biomass energy: key issues and priority needs. Executive. Director Robert Priddle. OECD/IEA. París, Francia.
- Wereko-Brobby, Charles Y. y Essel B. Hagen. 1996. "Biomass conversion and technology". John Wiley & Sons. England.
- Willars, J. M., y Heredia A. 1990. "Caracterización Energética del Sector Doméstico Mexicano". Cuadernos sobre Energía, UNAM.". División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, D. F.
- Zavala, Ch. F. 1990. "Primera Reunión Nacional Sobre Dendroenergía". División de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Autónoma de Chapingo (UACH). Chapingo, México.

## **APÉNDICE I**

### **FUENTES DE INFORMACIÓN Y MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN**

Para la realización de este estudio fue necesaria la integración de diferentes métodos de investigación, que van desde la búsqueda de bibliografía hasta el procesamiento y análisis de la información mediante diferentes métodos matemáticos y estadísticos. A continuación se describen las actividades realizadas.

Para iniciar el proceso de recopilación de información se partió de la necesidad de tener una base de datos completa. Se puede considerar que una base de información sobre el consumo de energía por usos finales está completa, si contiene los siguientes elementos:

- a) La información censal sobre población, número de viviendas, viviendas habitadas, departamentos y casas individuales. características de las viviendas por tamaño de localidad, etc.
- b) La información de la fuente energética para cada uso final, es decir, la población o el número de viviendas que utilizan determinado tipo de energético para un uso final específico.
- c) El consumo unitario para cada uso final o el consumo promedio por dispositivo, o al menos el consumo promedio por vivienda para determinado energético.
- d) La saturación de los dispositivos de uso final más importantes, y
- e) El Balance Nacional de Energía para el sector residencial.

La mayoría de los países poseen esta información, aunque con diferentes grados de desagregación. En general existe una deficiencia de información sobre algunas tareas energéticas predominantes en el sector residencial (cocción, calefacción y calentamiento de agua), lo que dificulta el análisis de este sector.

A continuación se presentan las fuentes de información, existentes en nuestro país, para cada una de los tópicos descritos anteriormente:

- a) Información censal proporcionada por el INEGI en la que se reporta la población y el número de viviendas particulares habitadas, agrupadas en rurales y urbanas, y por tamaño de población.

- b) Respecto a los combustibles utilizados en el sector residencial, el INEGI proporciona información sobre las viviendas que cuentan con energía eléctrica y sobre los principales combustibles usados para la cocción de los alimentos (petróleo, leña, gas o electricidad) para las áreas rurales y urbanas y por tamaño de población. En este aspecto es necesario recalcar que no existen datos de la población que utiliza dos o más combustibles para satisfacer sus necesidades de cocción de alimentos.
- c) Se carece de información precisa y detallada sobre el consumo unitario (CU) para las mayores actividades del sector residencial. Sin embargo, existe información que permite, de manera indirecta, estimar algunos de los datos más importantes para el análisis del sector residencial. Como este estudio está enfocado al uso de leña, con base en un gran número de estudios de caso, se sabe que la cocción de alimentos es la principal tarea energética por lo que en este análisis se asumió que la leña usada para la cocción de alimentos es igual al consumo de leña (ver Capítulo II).
- d) No se cuenta con información precisa sobre la saturación de los dispositivos finales. Por ejemplo, para la cocción de alimentos la encuesta ingreso gasto (INEGI) reporta el número de viviendas que poseen estufa de gas, sin embargo como se discutió ampliamente (Capítulo II), esto no significa necesariamente que las personas la utilicen para la cocción de sus alimentos, sino que la utilizan como dispositivo complementario.
- e) Se cuenta con un BNE que proporciona el consumo energético del sector residencial, que como ya mencionamos, para el caso de la leña emplea una metodología poco confiable e inconsistente.

Para este estudio se analizó información que podemos agrupar en tres niveles: nacional, regional y estudios comunitarios. A continuación se describen las mayores fuentes de datos para cada nivel:

### **AI.1. Nivel nacional**

La recopilación y análisis de información a este nivel se enfocó a la revisión cuidadosa de la literatura sobre biocombustibles en nuestro país. Entre las principales fuentes destacan las instituciones oficiales (SIC, 1962 y 1972; INEGI, 1982 y 1992; SEMIP, 1988; IMP, 1987; Frausto, 1992); académicas (IIE, 1984 y 1986; Guzmán *et al.*, 1985; Cervantes *et al.*, 1984; Masera, 1993, 1995; Arias, 1993) entre muchos otros. Toda esta información se

recopiló y analizó detalladamente, ya que cada reporte proporciona información general sobre cuestiones socioeconómicas, energéticas, y ambientales.

## AI.2. Nivel regional

En nuestro país se han realizado diferentes esfuerzos para agrupar los diversos patrones energéticos existentes en México. Entre los más importantes destacan:

- a) Un primer intento lo realizó el IIE (1986) al agrupar en *macro-regiones* el patrón energético rural, con base en los siguientes criterios: *i)* que los límites de las macro-regiones coincidieran con las divisiones políticas, *ii)* considerar la afinidad social, económica y cultural; y *iii)* seguir una lógica geográfico-espacial. De este estudio se desprenden ocho macro-regiones denominadas: Noroeste, Norte, Noreste, Occidente, Centro, Oriente, Sur y Sureste. Posteriormente se analizó el comportamiento de la Macro-región Sur (Guerrero y Oaxaca), dividiéndola a su vez, en regiones y sub-regiones.
- b) La agrupación por *regiones* efectuada por la SEMIP (1988) a partir de la regionalización económica propuesta por Bassols (1967) y modificada por la UNAM (1983) la cual considera ocho zonas económicas. La SEMIP dividió, de acuerdo a criterios energéticos, al país en diez regiones: Península de Baja California, Norte, Noreste, Centro Occidente, Centro Sur, Pacífico Sur, Golfo de México, Península de Yucatán, Noreste y Centro Norte. Posteriormente estas regiones se dividieron en tres sub-regiones cada una, para un total de 30 sub-regiones en el país.
- c) La clasificación por *zona geográfica* realizada por Willars y Heredia (1990) a partir de la información generada por el IMP (1987), esta agrupación se basó esencialmente en un criterio de concentración poblacional, resultando las siguientes zonas: *i)* Áreas metropolitanas del Distrito Federal, Guadalajara y Monterrey (por separado); *ii)* Áreas rurales, *iii)* Frontera norte y *iv)* Resto urbano del país (total nacional excluyendo la frontera norte).
- d) La *regionalización estatal* efectuada por Masera (1995) a partir de información estatal del número de usuarios de leña, la tasa de crecimiento de los usuarios, la población indígena y el número de usuarios por hectárea de bosque. Obteniendo cinco grupos con características particulares.

- e) La *municipalización* del consumo de leña para el periodo 1980-1990 efectuada por Masera y Ordóñez (1997), a partir de variables sociodemográficas (población indígena municipal, nivel de bienestar, saturación de usuarios de leña, consumo per cápita, tasa de crecimiento de los usuarios, número de usuarios por hectárea) y biofísicas (zona ecológica y superficie forestal total). Obteniendo cinco grupos de municipios denominados: *i)* Muy críticos, *ii)* Críticos, *iii)* Medianamente críticos, *iv)* Poco críticos y *v)* Muy poco críticos.

### AI.3. Estudios de caso

En México se han realizado diversos estudios de caso en comunidades rurales, a partir de la década de los ochenta por dependencias oficiales e instituciones no gubernamentales y educativas. El IIE (1984 y 1986) determinó el patrón energético en doce comunidades del país. Dentro de las organizaciones no gubernamentales destacan: Centro de Ecodesarrollo A. C. (CECODES, 1984), organización que realizó varios estudios de caso para el IIE; también se encuentra el Instituto de Ecología A. C. (IE, 1993), el Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural apropiada A. C. (GIRA, 1989); la Organización Ribereña contra la Contaminación del Lago de Pátzcuaro (ORCA, 1985); Asesoría Técnica a Comunidades Rurales de Oaxaca (ASETECO, 1992) y el Programa de Acción Forestal Tropical A. C. (PROAFT, 2000).

Algunas de las instituciones educativas que han efectuado estudios sobre el consumo de leña en comunidades rurales de México son: la Facultad de Ciencias de la UNAM, el Programa de Aprovechamiento integral de Recursos de la UNAM (1993), la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Chapingo, etc.

Es importante destacar que cada institución ha utilizado metodologías y enfoques diferentes de acuerdo a su propósito final, de aquí surge la necesidad de uniformizar criterios y crear una metodología que permita generar información útil tanto para los propósitos energéticos, socioeconómicos y ambientales; y sobre todo que permita la elaboración y ejecución de políticas energéticas enfocadas al desarrollo rural de manera sustentable.

## APÉNDICE II

### CONTENIDO ENERGÉTICO DE LA MADERA

En esta sección se presenta una breve ilustración de la relación entre la humedad y el contenido energético de la madera.

#### All.1. Contenido de humedad

El contenido de humedad que representa justamente la cantidad de agua en un combustible, puede expresarse de dos maneras, considerando una base húmeda "wb" (wet basis) y una base seca "db" (dry basis).

El contenido de humedad en base seca, matemáticamente se expresa por la relación (Ecuación All.1):

$$Mdb = \left( \frac{\text{Peso del agua en el combustible}}{\text{Peso seco del combustible}} \right) * 100 \quad (\text{All.1})$$

Y el contenido de humedad en base húmeda, se da mediante la siguiente relación matemática (Ecuación All.2):

$$Mwb = \left( \frac{\text{Peso del agua en el combustible}}{\text{Peso total del combustible}} \right) * 100 \quad (\text{All.2})$$

Existen dos fuentes de humedad en los combustibles: i) la humedad presente en el combustible y que puede ser removida a una temperatura de 100°C; y ii) el agua que se forma durante la combustión, como resultado de la combinación del hidrógeno presente en el combustible con el oxígeno del ambiente (Smith, 1987).

## All.2. Contenido energético de la madera

El poder calorífico mide la cantidad de energía de un combustible por unidad de peso o volumen y depende principalmente del contenido de humedad, sus unidades pueden ser MJ/kg y MJ/l. Comúnmente para expresar el contenido energético de los combustibles se emplean dos formas:

**Poder Calorífico superior (PCs):** indica la relación entre la energía total liberada por la combustión y el peso del combustible.

**Poder Calorífico inferior (PCi):** representa la cantidad efectiva de energía generada por la combustión, después de considerar las pérdidas ocasionadas por la evaporación de agua libre y combinada.

Obviamente el PCi es menor que el PCs porque no incluye i) la energía necesaria para la evaporación del agua contenida en el combustible y ii) la energía requerida para la formación de vapor de agua a partir del hidrógeno; por lo tanto, la diferencia entre el PCs y el PCi es función directa del contenido de agua y de hidrógeno en el combustible.

El poder calorífico de madera secada en horno varía muy poco para diferentes especies de árboles, y como ya mencionamos el contenido energético depende principalmente de la humedad de la madera. El poder calorífico superior *PCs* y poder calorífico inferior *PCi* se diferencian básicamente por el contenido de humedad de la madera y se expresan mediante las siguientes relaciones (Ecuación All.3 y All.4)

$$PCs = Ho(1 - Mwb) \quad (All.3)$$

$$PCi = Ho(1 - 1.12Mwb) \quad (All.4)$$

Donde:

Ho = es la entalpía de la madera secada en horno.

PCs = es la energía total o superior contenida en el combustible (MJ/kg).

PCi = energía neta o inferior contenida en el combustible (MJ/kg).

Mwb = contenido de humedad de la madera en base húmeda (wet basis)

Ahora bien, la relación entre la base húmeda y base seca se representa mediante la relación (Ecuación AII.5):

$$Mwb = \left( \frac{Mbd}{1 + Mdb} \right) \quad (\text{AII.5})$$

A partir de estas relaciones, Masera (1995) obtuvo una relación de contenido de humedad y el poder calorífico partiendo de una entalpía  $H_0$  igual a 20 MJ/kg, valor obtenido por Almeida (1993) a partir del análisis estadístico de 80 muestras para tres especies en la región Purépecha de Michoacán.

Tabla AII. 1. Relación entre la humedad de la madera y el contenido de energía

| Mwb (%) | PCs (MJ/kg) | PCi (MJ/kg) | PCi (sin pérdidas por H) |
|---------|-------------|-------------|--------------------------|
| 0.0     | 20.0        | 18.6        | 20.0                     |
| 5.0     | 19.0        | 17.6        | 18.9                     |
| 10.0    | 18.0        | 16.5        | 17.7                     |
| 15.0    | 17.0        | 15.4        | 16.6                     |
| 20.0    | 16.0        | 14.4        | 15.5                     |
| 25.0    | 15.0        | 13.3        | 14.4                     |
| 30.0    | 14.0        | 12.3        | 13.2                     |
| 35.0    | 13.0        | 11.2        | 12.1                     |
| 40.0    | 12.0        | 10.1        | 11.0                     |
| 45.0    | 11.0        | 9.1         | 9.8                      |
| 50.0    | 10.0        | 8.0         | 8.7                      |
| 55.0    | 9.0         | 7.0         | 7.6                      |
| 60.0    | 8.0         | 5.9         | 6.5                      |
| 65.0    | 7.0         | 4.8         | 5.3                      |
| 70.0    | 6.0         | 3.8         | 4.2                      |
| 75.0    | 5.0         | 2.7         | 3.1                      |
| 80.0    | 4.0         | 1.7         | 1.9                      |
| 85.0    | 3.0         | 0.6         | 0.8                      |
| 90.0    | 2.0         | -0.5        | -0.3                     |
| 95.0    | 1.0         | -1.5        | -1.4                     |

Fuente: Masera (1993)

### All.3. Estudios de caso

La mayoría de los estudios del contenido de humedad y poder calorífico de la madera usada como combustible se han realizado en las zonas templadas y secas del país (Almeida, 1993; Camacho, 1985; Moreno y Garay, 1990; Masera *et al.*, 1997a). Mientras que en las zonas cálido-húmedas se han realizado pocos estudios, por ejemplo en la región del Alto Balsas Poblano (Farfán *et al.*, 1990) se estudiaron algunas especies y en el estado de Veracruz se realizó uno recientemente (Arias *et al.*, 2000). Estos estudios revelan que existe cierta homogeneidad en el contenido de humedad entre las diferentes especies para varias regiones del país. Estos valores oscilan entre 8% y 60%. Con un promedio igual a 22%. La gran variación en la humedad de la madera se debe en gran medida a las condiciones en que se toma la muestra (recolectada en campo, leña recién cortada, leña en proceso de secado, o leña en condiciones de uso).

Es conveniente recalcar que el poder calorífico de la madera es función directa del contenido de humedad, por lo que esta variable se convierte en una pieza clave para la determinación del contenido energético de la madera. Sin embargo no debe olvidarse que existe una diferencia significativa entre el contenido energético de la madera obtenido en mediciones de laboratorio (donde la madera se seca en horno y no contiene humedad) con la madera usada por las personas en sus actividades normales. Ante esta situación es necesario uniformizar los criterios para tomar las muestras, ya que generalmente se toman las muestras en el campo o de madera almacenada (la cual generalmente está en proceso de secado) y no de la madera que se utiliza cotidianamente.

A continuación se muestran el contenido de humedad (Tabla All.2.) para varias especies en diferentes comunidades del país.

Tabla AII.2. Contenido de humedad de madera usada como combustible

| Comunidad                    | Especie          | Contenido de humedad (%) | Número de muestras | Observaciones  |
|------------------------------|------------------|--------------------------|--------------------|--|
| Nocutzepo, Michoacán         | Jara china       | 30.43                    | 1                  | Masera <i>et al.</i> , (1997), medido en condiciones de uso. |
|                              | Encino           | 27.62                    | 7                  |  |
|                              | Pino             | 25.92                    | 7                  |  |
|                              | Zapote           | 14.73                    | 1                  |  |
|                              | Madroño          | 15.88                    | 1                  |  |
| Urandén, Michoacán           | Encino           | 24.53                    | 6                  | Masera <i>et al.</i> , (1997), medido en condiciones de uso  |
|                              | Pino             | 29.32                    | 5                  |  |
|                              | Jara china       | 24.73                    | 1                  |  |
|                              | N. d.            | 28.15                    | 1                  |  |
| San Jerónimo, Michoacán      | Pino             | 17.61                    | 2                  | Masera <i>et al.</i> , (1997), medido en condiciones de uso  |
|                              | Encino           | 24.03                    | 8                  |  |
| Ahuatepec, Guerrero          | Huaje colorado   | 21.38                    | 1                  | Masera <i>et al.</i> , (1997), medido en condiciones de uso  |
|                              | Tehuixtle        | 43.28                    | 2                  |  |
|                              | Tepehuaje        | 28.73                    | 1                  |  |
|                              | Orégano          | 26.65                    | 1                  |  |
|                              | Couajtle         | 33.98                    | 1                  |  |
|                              | Tetlatia         | 47.93                    | 1                  |  |
|                              | Copale           | 60.00                    | 1                  |  |
| Ahuatepec, Guerrero          | Tlaxca           | 27.15                    | 1                  | Masera <i>et al.</i> , (1997), medido en condiciones de uso  |
|                              | N.d.             | 51.33                    | 1                  |  |
|                              | N.d.             | 24.75                    | 1                  |  |
|                              | N.d.             | 17.93                    | 1                  |  |
|                              | N.d.             | 43.35                    | 1                  |  |
| Tlapa de Comonfort, Guerrero | Tepehuaje        | 12.25                    | 1                  | Masera <i>et al.</i> , (1997), medido en condiciones de uso  |
|                              | Huamuchil        | 12.25                    | 1                  |  |
|                              | Palo de coquillo | 17.75                    | 1                  |  |
|                              | Encino           | 15.88                    | 2                  |  |
|                              | Chilacata        | 43.10                    | 1                  |  |
|                              | N.d.             | 13.00                    | 1                  |  |
|                              | N.d.             | 50.75                    | 1                  |  |
|                              | N.d.             | 8.50                     | 1                  |  |

| Comunidad                   | Especie           | Contenido de humedad (%) | Número de muestras | Observaciones   |
|-----------------------------|-------------------|--------------------------|--------------------|---|
| San Antonino, Oaxaca        | Encino delgado    | 27.09                    | 9                  | Masera <i>et al.</i> , (1997), medido en condiciones de uso |
|                             | Encino blanco     | 27.00                    | 13                 |   |
|                             | Encino rojo       | 33.40                    | 6                  |   |
|                             | Encino negro      | 19.37                    | 8                  |   |
|                             | Encino amarillo   | 32.98                    | 1                  |   |
|                             | Pino              | 23.93                    | 8                  |   |
|                             | Madroño           | 23.01                    | 6                  |   |
|                             | Huajal            | 41.38                    | 1                  |   |
|                             | Tejocote          | 41.25                    | 1                  |   |
|                             | Palo de sal       | 16.00                    | 1                  |   |
|                             | Chamizal          | 23.25                    | 1                  |   |
| San Miguel Mixtepec, Oaxaca | Encino blanco     | 23.62                    | 21                 | Masera <i>et al.</i> , (1997), medido en condiciones de uso |
|                             | Encino negro      | 17.17                    | 6                  |   |
|                             | Encino cucharilla | 14.50                    | 1                  |   |
|                             | Encino amarillo   | 21.02                    | 5                  |   |
|                             | Pino              | 12.80                    | 5                  |   |
|                             | Garroble          | 36.43                    | 1                  |   |
|                             | Ayle              | 26.41                    | 4                  |   |
|                             | Anonal            | 14.13                    | 2                  |   |
| San Miguel Mixtepec, Oaxaca | Duraznal          | 18.13                    | 2                  | Masera <i>et al.</i> , (1997), medido en condiciones de uso |
|                             | Sauce             | 13.00                    | 1                  |   |
|                             | Madroño           | 16.00                    | 1                  |   |
|                             | Chamizo           | 23.05                    | 2                  |   |
| San Mateo Mixtepec, Oaxaca  | Encino rojo       | 27.68                    | 11                 | Masera <i>et al.</i> , (1997), medido en condiciones de uso |
|                             | Encino delgado    | 25.75                    | 1                  |   |
|                             | Encino amarillo   | 23.23                    | 12                 |   |
|                             | Encino negro      | 29.39                    | 2                  |   |
|                             | Encino blanco     | 20.08                    | 3                  |   |
|                             | Sabino            | 25.50                    | 1                  |   |

| Comunidad                  | Especie              | Contenido de humedad (%) | Número de muestras | Observaciones   |
|----------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------|---|
| Sta. Cruz Mixtepec, Oaxaca | Encino negro         | 20.47                    | 16                 | Masera <i>et al.</i> , (1997), medido en condiciones de uso |
|                            | Encino cucharilla    | 11.00                    | 2                  |   |
|                            | Yegala               | 19.90                    | 5                  |   |
|                            | Jacaranda            | 13.00                    | 1                  |   |
|                            | Tepehuaje            | 21.21                    | 5                  |   |
|                            | Chamizo              | 51.88                    | 2                  |   |
|                            | Huajal               | 16.08                    | 3                  |   |
|                            | Zapotillo            | 20.94                    | 4                  |   |
|                            | Algarroble           | 11.25                    | 1                  |   |
|                            | Sauce                | 16.00                    | 1                  |   |
|                            | Aguacatal            | 13.75                    | 1                  |   |
|                            | Cuajinicuil          | 60.00                    | 1                  |   |
|                            | Nanche               | 18.50                    | 1                  |   |
| Sta. Cruz Mixtepec, Oaxaca | Sabino               | 23.63                    | 4                  | Masera <i>et al.</i> , (1997), medido en condiciones de uso |
|                            | Eucalipto            | 21.00                    | 1                  |   |
| Sta. Cruz Mixtepec, Oaxaca | N.d.                 | 13.75                    | 1                  | Masera <i>et al.</i> , (1997), medido en condiciones de uso |
|                            | N.d.                 | 15.00                    | 1                  |   |
| Alto Balsas Poblano&       | Acacia penatula      | 8.00                     | 10                 | Farfán <i>et al.</i> , 1990                                 |
|                            | Acacia cochliacantha | 8.00                     | 10                 |   |
|                            | Acacia penatula      | 5.73                     | 10                 |   |
| Alto Balsas Poblano&       | Acacia cochliacantha | 8.73                     | 10                 | Farfán <i>et al.</i> , 1990                                 |
|                            | Lonchocarpus rugosus | 25.12                    | 10                 |   |
|                            | Lonchocarpus rugosus | 12.87                    | 10                 |   |
|                            | Stenolobium sp.      | 27.91                    | 10                 |   |
|                            | Stenolobium sp.      | 13.00                    | 10                 |   |

| Comunidad                  | Especie                   | Contenido de humedad (%) | Número de muestras | Observaciones                |
|----------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------|------------------------------|
| Alto Balsas Poblano&       | Pithecellobium dulce      | 6.99                     | n.d.               | Sánchez <i>et al.</i> , 1990 |
|                            | Piptadenia viridiflora    | 4.70                     | n.d.               |                              |
|                            | Leucema leucocephala      | 7.19                     | n.d.               |                              |
|                            | Hauya elegans sp. varcena | 0.84                     | n.d.               |                              |
|                            | Quercus glaucoides        | 0.00                     | n.d.               |                              |
|                            | Q. castanea               | 0.00                     | n.d.               |                              |
| Mpio de Cuetzalán, Puebla& | Xicalcuhuit               | 17.62                    | n.d.               | Moreno y Garay, 1990         |
|                            | Chaca                     | 26.41                    | n.d.               |                              |
|                            | Café                      | 2.01                     | n.d.               |                              |
|                            | Sangre de grado           | 23.36                    | n.d.               |                              |
| Mpio de Cuetzalán, Puebla  | Garrochilla               | 25.30                    | n.d.               | Moreno y Garay, 1990         |
|                            | Capulín nihua             | 10.16                    | n.d.               |                              |
|                            | Cuacuete                  | 19.46                    | n.d.               |                              |
|                            | Bayetilla                 | 0.00                     | n.d.               |                              |
|                            | Jonote blanco             | 20.04                    | n.d.               |                              |
|                            | Chalahuite blanco         | 13.72                    | n.d.               |                              |
|                            | Chalahuite negro          | 0.00                     | n.d.               |                              |
|                            | Pimienta                  | 27.82                    | n.d.               |                              |
|                            | Guayaba                   | 27.82                    | n.d.               |                              |
| Mpio de Cuetzalán, Puebla  | Sauco                     | 13.01                    | n.d.               | Moreno y Garay, 1990         |
|                            | Bienvenido                | 29.73                    | n.d.               |                              |
|                            | Matacaballo               | 19.67                    | n.d.               |                              |
|                            | Mal hombre                | 28.13                    | n.d.               |                              |
|                            | Ogma                      | 25.07                    | n.d.               |                              |

| Comunidad         | Especie       | Contenido de humedad (%) | Número de muestras | Observaciones              |
|-------------------|---------------|--------------------------|--------------------|----------------------------|
| Jicacal, Veracruz | Mangle negro  | 27.00                    | 16                 | Arias <i>et al.</i> , 2000 |
|                   | Mangle rojo   | 27.00                    | 16                 |                            |
|                   | Mangle blanco | 24.00                    | 10                 |                            |
| Pajapan, Veracruz | Nanche        | 21.00                    | 14                 | Arias <i>et al.</i> , 2000 |
|                   | Cocuite       | 24.00                    | 9                  |                            |
|                   | Acotopi       | 17.00                    | 6                  |                            |
|                   | Mango         | 21.00                    | 6                  |                            |
|                   | Solerillo     | 22.00                    | 4                  |                            |

La humedad promedio de las diferentes especies es del 22%, y al aplicar la ecuación AII.3 se obtiene un PCs igual a 16 MJ/kg.

| ESTADO                | VIVTOT    | VIVLEÑA   | POBTOT     | POBLEÑA    | RURAL<br>POB < 2500 | URBANA<br>POB > 2500 | SATURACIÓN |        |
|-----------------------|-----------|-----------|------------|------------|---------------------|----------------------|------------|--------|
|                       |           |           |            |            |                     |                      | RURAL      | URBANA |
| AGUASCALIENTES        | 42,152    | 21,708    | 243,363    | 128,675    | 97,603              | 145,760              | 100%       | 21%    |
| BAJA CALIFORNIA NORTE | 98,889    | 18,277    | 520,165    | 106,324    | 116,102             | 404,063              | 92%        | 0%     |
| BAJA CALIFORNIA SUR   | 14,429    | 11,181    | 81,594     | 65,523     | 51,980              | 29,614               | 100%       | 46%    |
| CAMPECHE              | 30,648    | 26,554    | 168,219    | 146,885    | 61,935              | 106,284              | 100%       | 80%    |
| COAHUILA              | 165,130   | 69,345    | 907,734    | 389,830    | 301,893             | 605,841              | 100%       | 15%    |
| COLIMA                | 30,949    | 23,115    | 164,450    | 123,901    | 62,810              | 101,640              | 100%       | 60%    |
| CHIAPAS               | 226,075   | 209,839   | 1,210,870  | 1,129,104  | 915,003             | 295,867              | 100%       | 72%    |
| CHIHUAHUA             | 226,885   | 116,131   | 1,226,793  | 651,775    | 525,643             | 701,150              | 100%       | 18%    |
| DISTRITO FEDERAL      | 902,083   | 98,086    | 4,870,876  | 549,194    | 204,848             | 4,666,028            | 100%       | 7%     |
| DURANGO               | 135,404   | 98,721    | 760,836    | 561,337    | 490,631             | 270,205              | 100%       | 26%    |
| GUANAJUATO            | 311,981   | 229,163   | 1,735,490  | 1,260,806  | 930,007             | 805,483              | 100%       | 41%    |
| GUERRERO              | 222,234   | 207,467   | 1,186,716  | 1,112,054  | 881,177             | 305,539              | 100%       | 76%    |
| HIDALGO               | 183,750   | 155,407   | 994,598    | 840,285    | 771,716             | 222,882              | 100%       | 31%    |
| JALISCO               | 433,157   | 271,144   | 2,443,261  | 1,551,142  | 1,013,669           | 1,429,592            | 100%       | 38%    |
| EDO. DE MÉXICO        | 342,997   | 247,696   | 1,897,851  | 1,369,707  | 1,165,135           | 732,716              | 100%       | 28%    |
| MICHOACÁN             | 340,067   | 288,333   | 1,851,876  | 1,562,136  | 1,100,061           | 751,815              | 100%       | 61%    |
| MORELOS               | 73,552    | 45,084    | 386,264    | 242,716    | 180,730             | 205,534              | 100%       | 30%    |
| NAYARIT               | 71,598    | 60,675    | 389,929    | 329,243    | 223,698             | 166,231              | 100%       | 63%    |
| NUEVO LEÓN            | 194,641   | 77,004    | 1,078,848  | 451,609    | 319,787             | 759,061              | 100%       | 17%    |
| OAXACA                | 339,576   | 322,063   | 1,727,266  | 1,638,420  | 1,306,360           | 420,906              | 100%       | 79%    |
| PUEBLA                | 368,785   | 288,111   | 1,973,837  | 1,543,647  | 1,200,356           | 773,481              | 100%       | 44%    |
| QUERÉTARO             | 68,190    | 55,666    | 355,045    | 285,789    | 255,151             | 99,894               | 100%       | 31%    |
| QUINTANA ROO          | 9,836     | 9,016     | 50,169     | 46,027     | 34,399              | 15,770               | 100%       | 74%    |
| SAN LUIS POTOSÍ       | 192,553   | 162,767   | 1,048,297  | 882,844    | 695,686             | 352,611              | 100%       | 53%    |
| SINALOA               | 132,095   | 101,414   | 838,404    | 659,153    | 518,193             | 320,211              | 100%       | 44%    |
| SONORA                | 137,862   | 88,759    | 783,378    | 514,776    | 332,375             | 451,003              | 100%       | 40%    |
| TABASCO               | 77,368    | 65,093    | 496,340    | 429,187    | 364,079             | 132,261              | 100%       | 49%    |
| TAMAULIPAS            | 197,115   | 101,279   | 1,024,182  | 536,312    | 411,425             | 612,757              | 100%       | 20%    |
| TLAXCALA              | 65,245    | 50,473    | 346,699    | 267,584    | 194,545             | 152,154              | 100%       | 48%    |
| VERACRUZ              | 507,912   | 369,323   | 2,727,899  | 2,028,946  | 1,648,558           | 1,079,341            | 100%       | 35%    |
| YUCATÁN               | 117,475   | 103,411   | 614,049    | 537,709    | 246,906             | 367,143              | 100%       | 79%    |
| ZACATECAS             | 148,463   | 122,819   | 817,831    | 674,674    | 595,550             | 222,281              | 100%       | 36%    |
| NACIONAL              | 6,409,096 | 4,115,124 | 34,923,129 | 22,617,314 | 17,218,011          | 17,705,118           | 100%       | 43%    |

BASE DE DATOS POR ESTADO, 1960

APÉNDICE III

## BASE DE DATOS POR ESTADO, 1960

| ESTADO                | SATSEMIP<br>LEÑA | SATURACIÓN MIXTA |        | USUARIOS DE LEÑA |           | USUARIOS MIXTOS |           | TOTAL USUARIOS |           | TOTAL      |
|-----------------------|------------------|------------------|--------|------------------|-----------|-----------------|-----------|----------------|-----------|------------|
|                       |                  | RURAL            | URBANA | RURAL            | URBANA    | RURAL           | URBANA    | RURAL          | URBANO    |            |
| AGUASCALIENTES        | 100%             | 0%               | 20%    | 97,603           | 31,072    | 0               | 6,214     | 97,603         | 37,286    | 134,889    |
| BAJA CALIFORNIA NORTE | 100%             | 8%               | 20%    | 106,324          | 0         | 9,778           | 0         | 116,102        | 0         | 116,102    |
| BAJA CALIFORNIA SUR   | 100%             | 0%               | 20%    | 51,980           | 13,543    | 0               | 2,709     | 51,980         | 16,252    | 68,232     |
| CAMPECHE              | 100%             | 0%               | 20%    | 61,935           | 84,950    | 0               | 16,990    | 61,935         | 101,940   | 163,875    |
| COAHUILA              | 100%             | 0%               | 20%    | 301,893          | 87,937    | 0               | 17,587    | 301,893        | 106,524   | 407,417    |
| COLIMA                | 100%             | 0%               | 20%    | 62,810           | 61,091    | 0               | 12,218    | 62,810         | 73,309    | 136,119    |
| CHIAPAS               | 100%             | 0%               | 20%    | 915,003          | 214,101   | 0               | 42,820    | 915,003        | 256,921   | 1,171,924  |
| CHIHUAHUA             | 100%             | 0%               | 20%    | 525,643          | 126,132   | 0               | 25,226    | 525,643        | 151,358   | 677,001    |
| DISTRITO FEDERAL      | 100%             | 0%               | 20%    | 204,848          | 344,346   | 0               | 68,869    | 204,848        | 413,215   | 618,063    |
| DURANGO               | 100%             | 0%               | 20%    | 490,631          | 70,706    | 0               | 14,141    | 490,631        | 84,847    | 575,478    |
| GUANAJUATO            | 100%             | 0%               | 20%    | 930,007          | 330,799   | 0               | 66,160    | 930,007        | 396,959   | 1,326,966  |
| GUERRERO              | 100%             | 0%               | 20%    | 881,177          | 230,877   | 0               | 46,175    | 881,177        | 277,052   | 1,158,229  |
| HIDALGO               | 100%             | 0%               | 20%    | 771,716          | 68,569    | 0               | 13,714    | 771,716        | 82,283    | 853,999    |
| JALISCO               | 100%             | 0%               | 20%    | 1,013,669        | 537,473   | 0               | 107,495   | 1,013,669      | 644,968   | 1,658,637  |
| EDO. DE MÉXICO        | 100%             | 0%               | 20%    | 1,165,135        | 204,572   | 0               | 40,914    | 1,165,135      | 245,486   | 1,410,621  |
| MICHOACAN             | 100%             | 0%               | 20%    | 1,100,061        | 462,075   | 0               | 92,415    | 1,100,061      | 554,490   | 1,654,551  |
| MORELOS               | 100%             | 0%               | 20%    | 180,730          | 61,986    | 0               | 12,397    | 180,730        | 74,383    | 255,113    |
| NAYARIT               | 100%             | 0%               | 20%    | 223,698          | 105,545   | 0               | 21,109    | 223,698        | 126,654   | 350,352    |
| NUEVO LEON            | 100%             | 0%               | 20%    | 319,787          | 131,822   | 0               | 26,364    | 319,787        | 158,186   | 477,973    |
| OAXACA                | 100%             | 0%               | 20%    | 1,306,360        | 332,060   | 0               | 66,412    | 1,306,360      | 398,472   | 1,704,832  |
| PUEBLA                | 100%             | 0%               | 20%    | 1,200,356        | 343,291   | 0               | 68,658    | 1,200,356      | 411,949   | 1,612,305  |
| QUERETARO             | 100%             | 0%               | 20%    | 255,151          | 30,638    | 0               | 6,128     | 255,151        | 36,766    | 291,917    |
| QUINTANA ROO          | 100%             | 0%               | 20%    | 34,399           | 11,628    | 0               | 2,326     | 34,399         | 13,954    | 48,353     |
| SAN LUIS POTOSÍ       | 100%             | 0%               | 20%    | 695,686          | 187,158   | 0               | 37,432    | 695,686        | 224,590   | 920,276    |
| SINALOA               | 100%             | 0%               | 20%    | 518,193          | 140,960   | 0               | 28,192    | 518,193        | 169,152   | 687,345    |
| SONORA                | 100%             | 0%               | 20%    | 332,375          | 182,401   | 0               | 36,480    | 332,375        | 218,881   | 551,256    |
| TABASCO               | 100%             | 0%               | 20%    | 364,079          | 65,108    | 0               | 13,022    | 364,079        | 78,130    | 442,209    |
| TAMAULIPAS            | 100%             | 0%               | 20%    | 411,425          | 124,887   | 0               | 24,977    | 411,425        | 149,864   | 561,289    |
| TLAXCALA              | 100%             | 0%               | 20%    | 194,545          | 73,039    | 0               | 14,608    | 194,545        | 87,647    | 282,192    |
| VERACRUZ              | 100%             | 0%               | 20%    | 1,648,558        | 380,388   | 0               | 76,078    | 1,648,558      | 456,466   | 2,105,024  |
| YUCATÁN               | 100%             | 0%               | 20%    | 246,906          | 290,803   | 0               | 58,161    | 246,906        | 348,964   | 595,870    |
| ZACATECAS             | 100%             | 0%               | 20%    | 595,550          | 79,124    | 0               | 15,825    | 595,550        | 94,949    | 690,499    |
| NACIONAL              | 100%             | 0%               | 20%    | 17,208,233       | 5,409,081 | 9,778           | 1,081,816 | 17,218,011     | 6,490,897 | 23,708,908 |

## BASE DE DATOS POR ESTADO, 1970

| ESTADO                | VIVTOT    | VIVLEÑA   | POBTOT     | POBLEÑA    | RURAL      |                      | SATURACIÓN |        |
|-----------------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|----------------------|------------|--------|
|                       |           |           |            |            | POB < 2500 | URBANA<br>POB > 2500 | RURAL      | URBANA |
| AGUASCALIENTES        | 52,722    | 18,634    | 338,142    | 120,676    | 122,998    | 215,144              | 74%        | 14%    |
| BAJA CALIFORNIA NORTE | 155,859   | 19,114    | 870,421    | 108,091    | 136,616    | 733,805              | 35%        | 8%     |
| BAJA CALIFORNIA SUR   | 21,246    | 10,696    | 128,019    | 68,603     | 58,963     | 69,056               | 74%        | 37%    |
| CAMPECHE              | 42,296    | 28,755    | 251,556    | 172,672    | 91,028     | 160,528              | 92%        | 56%    |
| COAHUILA              | 186,001   | 39,326    | 1,114,956  | 238,578    | 303,862    | 811,094              | 60%        | 7%     |
| COLIMA                | 41,840    | 21,450    | 241,153    | 123,689    | 74,223     | 166,930              | 81%        | 38%    |
| CHIAPAS               | 275,437   | 212,878   | 1,569,053  | 1,217,808  | 1,133,719  | 435,334              | 87%        | 53%    |
| CHIHUAHUA             | 287,499   | 100,093   | 1,612,525  | 562,564    | 557,269    | 1,055,256            | 73%        | 15%    |
| DISTRITO FEDERAL      | 1,219,419 | 31,798    | 6,874,165  | 171,321    | 229,446    | 6,644,719            | 10%        | 2%     |
| DURANGO               | 149,582   | 78,156    | 939,208    | 489,851    | 549,693    | 389,515              | 73%        | 23%    |
| GUANAJUATO            | 358,587   | 187,438   | 2,270,370  | 1,166,494  | 1,087,003  | 1,183,367            | 81%        | 24%    |
| GUERRERO              | 275,954   | 205,067   | 1,597,360  | 1,185,338  | 1,028,215  | 569,145              | 88%        | 50%    |
| HIDALGO               | 210,744   | 144,479   | 1,193,845  | 804,062    | 856,884    | 336,961              | 82%        | 30%    |
| JALISCO               | 536,134   | 203,985   | 3,296,586  | 1,183,617  | 1,038,054  | 2,258,532            | 75%        | 18%    |
| EDO. DE MÉXICO        | 624,250   | 224,377   | 3,833,185  | 1,337,227  | 1,443,282  | 2,389,903            | 63%        | 18%    |
| MICHOACÁN             | 391,009   | 249,875   | 2,324,226  | 1,471,132  | 1,252,027  | 1,072,199            | 81%        | 42%    |
| MORELOS               | 108,903   | 42,148    | 616,119    | 247,528    | 185,151    | 430,968              | 68%        | 28%    |
| NAYARIT               | 96,444    | 55,801    | 544,031    | 311,248    | 271,960    | 272,071              | 79%        | 36%    |
| NUEVO LEÓN            | 292,153   | 53,763    | 1,694,689  | 312,093    | 397,846    | 1,296,843            | 57%        | 7%     |
| OAXACA                | 375,394   | 305,474   | 2,015,424  | 1,635,133  | 1,470,685  | 544,739              | 88%        | 62%    |
| PUEBLA                | 443,321   | 276,520   | 2,508,226  | 1,560,479  | 1,340,178  | 1,168,048            | 84%        | 37%    |
| QUERETARO             | 80,870    | 54,202    | 485,523    | 317,636    | 312,715    | 172,808              | 90%        | 21%    |
| QUINTANA ROO          | 15,316    | 11,608    | 88,150     | 67,868     | 55,944     | 32,206               | 95%        | 46%    |
| SAN LUIS POTOSÍ       | 216,461   | 143,816   | 1,281,996  | 839,285    | 782,052    | 499,944              | 88%        | 31%    |
| SINALOA               | 206,750   | 111,657   | 1,266,528  | 690,692    | 657,789    | 608,739              | 80%        | 27%    |
| SONORA                | 185,607   | 71,791    | 1,098,720  | 420,712    | 367,945    | 730,775              | 70%        | 22%    |
| TABASCO               | 126,706   | 79,894    | 768,327    | 498,787    | 510,990    | 257,337              | 85%        | 25%    |
| TAMAULIPAS            | 266,032   | 85,256    | 1,456,858  | 476,978    | 452,423    | 1,004,435            | 68%        | 17%    |
| TLAXCALA              | 72,470    | 47,302    | 420,638    | 272,067    | 211,547    | 209,091              | 75%        | 54%    |
| VERACRUZ              | 688,798   | 360,080   | 3,815,422  | 2,035,193  | 2,017,637  | 1,797,785            | 79%        | 24%    |
| YUCATÁN               | 129,642   | 88,589    | 758,355    | 524,858    | 265,388    | 492,967              | 88%        | 59%    |
| ZACATECAS             | 152,923   | 99,766    | 951,462    | 620,629    | 653,150    | 298,312              | 78%        | 37%    |
| NACIONAL              | 8,286,369 | 3,663,788 | 48,225,238 | 21,252,909 | 19,916,682 | 28,308,556           | 75%        | 30%    |

BASE DE DATOS POR ESTADO, 1970

| ESTADO                | SATSEMP<br>LEÑA | SATURACIÓN MIXTA |        | USUARIOS DE LEÑA |           | USUARIOS MIXTOS |           | TOTAL USUARIOS |           | TOTAL<br>NACIONAL |
|-----------------------|-----------------|------------------|--------|------------------|-----------|-----------------|-----------|----------------|-----------|-------------------|
|                       |                 | RURAL            | URBANA | RURAL            | URBANA    | RURAL           | URBANA    | RURAL          | URBANO    |                   |
| AGUASCALIENTES        | 95%             | 21%              | 30%    | 91,281           | 29,395    | 25,977          | 8,819     | 117,258        | 38,214    | 155,472           |
| BAJA CALIFORNIA NORTE | 88%             | 53%              | 30%    | 47,468           | 60,823    | 72,096          | 18,187    | 119,564        | 78,810    | 198,374           |
| BAJA CALIFORNIA SUR   | 88%             | 14%              | 30%    | 43,341           | 25,262    | 8,263           | 7,579     | 51,604         | 32,841    | 84,444            |
| CAMPECHE              | 99%             | 7%               | 30%    | 83,508           | 89,164    | 6,374           | 26,749    | 89,882         | 115,913   | 205,795           |
| COAHUILA              | 98%             | 38%              | 30%    | 182,569          | 56,009    | 113,978         | 16,803    | 296,547        | 72,812    | 369,359           |
| COLIMA                | 95%             | 14%              | 30%    | 60,072           | 63,617    | 10,687          | 19,085    | 70,759         | 82,702    | 153,461           |
| CHIAPAS               | 99%             | 12%              | 30%    | 987,091          | 230,717   | 136,131         | 69,215    | 1,123,222      | 299,932   | 1,423,154         |
| CHIHUAHUA             | 98%             | 25%              | 30%    | 405,775          | 156,789   | 138,078         | 47,037    | 543,853        | 203,826   | 747,679           |
| DISTRITO FEDERAL      | 99%             | 88%              | 30%    | 23,586           | 147,735   | 202,716         | 44,321    | 226,302        | 192,056   | 418,357           |
| DURANGO               | 98%             | 24%              | 30%    | 401,977          | 87,874    | 134,483         | 26,362    | 536,460        | 114,236   | 650,696           |
| GUANAJUATO            | 95%             | 14%              | 30%    | 885,024          | 281,470   | 151,252         | 84,441    | 1,036,276      | 365,911   | 1,402,187         |
| GUERRERO              | 99%             | 11%              | 30%    | 901,796          | 283,542   | 116,898         | 85,063    | 1,018,694      | 388,605   | 1,387,299         |
| HIDALGO               | 99%             | 17%              | 30%    | 703,052          | 101,010   | 142,090         | 30,303    | 845,142        | 131,313   | 976,455           |
| JALISCO               | 95%             | 21%              | 30%    | 775,106          | 408,511   | 214,505         | 122,553   | 989,611        | 631,064   | 1,520,676         |
| EDO. DE MÉXICO        | 99%             | 36%              | 30%    | 905,420          | 431,807   | 518,084         | 129,542   | 1,423,504      | 561,349   | 1,984,853         |
| MICHOACÁN             | 95%             | 14%              | 30%    | 1,018,406        | 452,726   | 175,193         | 135,818   | 1,193,599      | 588,544   | 1,782,143         |
| MORELOS               | 99%             | 30%              | 30%    | 126,372          | 121,156   | 56,242          | 36,347    | 182,614        | 157,503   | 340,117           |
| NAYARIT               | 89%             | 11%              | 30%    | 213,552          | 97,696    | 28,593          | 29,309    | 242,145        | 127,005   | 369,150           |
| NUEVO LEON            | 89%             | 32%              | 30%    | 227,717          | 84,376    | 126,808         | 25,313    | 354,525        | 109,689   | 464,214           |
| OAXACA                | 99%             | 11%              | 30%    | 1,299,752        | 335,381   | 157,316         | 100,614   | 1,457,068      | 435,995   | 1,893,063         |
| PUEBLA                | 99%             | 15%              | 30%    | 1,126,659        | 433,820   | 195,154         | 130,146   | 1,321,813      | 563,966   | 1,885,779         |
| QUERÉTARO             | 99%             | 8%               | 30%    | 282,131          | 35,505    | 26,299          | 10,652    | 308,430        | 46,157    | 354,586           |
| QUINTANA ROO          | 99%             | 4%               | 30%    | 53,054           | 14,814    | 2,186           | 4,444     | 55,240         | 19,258    | 74,498            |
| SAN LUIS POTOSÍ       | 93%             | 5%               | 30%    | 685,869          | 153,416   | 40,860          | 46,025    | 726,729        | 199,441   | 926,170           |
| SINALOA               | 89%             | 9%               | 30%    | 527,103          | 163,589   | 58,573          | 49,077    | 585,676        | 212,666   | 798,342           |
| SONORA                | 89%             | 19%              | 30%    | 256,751          | 163,961   | 70,856          | 49,188    | 327,607        | 213,149   | 540,757           |
| TABASCO               | 97%             | 12%              | 30%    | 433,274          | 65,513    | 62,197          | 19,654    | 495,471        | 85,167    | 580,638           |
| TAMAULIPAS            | 89%             | 22%              | 30%    | 305,742          | 171,236   | 97,417          | 51,371    | 403,159        | 222,607   | 625,766           |
| TLAXCALA              | 99%             | 24%              | 30%    | 158,768          | 113,299   | 49,880          | 33,990    | 208,648        | 147,289   | 355,937           |
| VERACRUZ              | 97%             | 18%              | 30%    | 1,599,651        | 435,542   | 356,710         | 130,663   | 1,956,361      | 566,205   | 2,522,565         |
| YUCATÁN               | 99%             | 11%              | 30%    | 233,172          | 291,686   | 28,874          | 87,506    | 262,046        | 379,192   | 641,238           |
| ZACATECAS             | 93%             | 15%              | 30%    | 511,597          | 109,032   | 95,349          | 32,710    | 606,946        | 141,742   | 748,687           |
| NACIONAL              | 95%             | 20%              | 30%    | 15,556,636       | 5,696,273 | 4,064,266       | 1,708,882 | 19,176,752     | 7,405,155 | 26,581,907        |

BASE DE DATOS POR ESTADO, 1980

| ESTADO                | VIVTOT     | VIVLEÑA   | POBTOT     | POBLEÑA    | RURAL<br>POB < 2500 | URBANA<br>POB > 2500 | SATURACIÓN |        |
|-----------------------|------------|-----------|------------|------------|---------------------|----------------------|------------|--------|
|                       |            |           |            |            |                     |                      | RURAL      | URBANA |
| AGUASCALIENTES        | 83,791     | 11,216    | 515,354    | 71,907     | 153,894             | 361,460              | 38%        | 4%     |
| BAJA CALIFORNIA NORTE | 238,603    | 7,691     | 1,165,927  | 38,393     | 173,692             | 992,235              | 14%        | 1%     |
| BAJA CALIFORNIA SUR   | 39,671     | 10,588    | 212,868    | 64,466     | 65,166              | 147,702              | 60%        | 17%    |
| CAMPECHE              | 75,879     | 28,225    | 418,237    | 159,459    | 128,547             | 289,690              | 72%        | 23%    |
| COAHUILA              | 282,705    | 26,530    | 1,547,714  | 155,626    | 352,294             | 1,195,420            | 38%        | 2%     |
| COLIMA                | 64,270     | 12,399    | 342,258    | 67,247     | 87,707              | 254,551              | 46%        | 11%    |
| CHIAPAS               | 370,319    | 248,382   | 2,060,494  | 1,413,594  | 1,381,748           | 678,746              | 85%        | 35%    |
| CHIHUAHUA             | 391,464    | 94,438    | 1,994,357  | 504,732    | 561,130             | 1,433,227            | 72%        | 7%     |
| DISTRITO FEDERAL      | 1,747,102  | 14,502    | 8,773,395  | 71,462     | 0                   | 8,773,395            | 0%         | 1%     |
| DURANGO               | 198,378    | 65,696    | 1,173,855  | 407,227    | 586,776             | 587,079              | 59%        | 11%    |
| GUANAJUATO            | 474,800    | 156,110   | 2,982,086  | 993,594    | 1,234,506           | 1,747,580            | 66%        | 10%    |
| GUERRERO              | 377,847    | 221,602   | 2,082,827  | 1,278,314  | 1,226,119           | 856,708              | 85%        | 28%    |
| HIDALGO               | 272,162    | 149,676   | 1,533,177  | 841,123    | 1,041,218           | 491,959              | 73%        | 16%    |
| JALISCO               | 776,809    | 137,369   | 4,343,792  | 785,864    | 1,067,363           | 3,276,429            | 56%        | 6%     |
| EDO. DE MÉXICO        | 1,281,270  | 215,110   | 7,511,360  | 1,280,391  | 1,556,931           | 5,954,429            | 58%        | 6%     |
| MICHOACAN             | 494,638    | 208,075   | 2,851,256  | 1,218,628  | 1,338,741           | 1,512,515            | 67%        | 21%    |
| MORELOS               | 175,397    | 35,244    | 936,914    | 207,191    | 247,758             | 689,156              | 42%        | 15%    |
| NAYARIT               | 132,440    | 34,165    | 720,333    | 185,141    | 311,592             | 408,741              | 47%        | 9%     |
| NUEVO LEON            | 461,105    | 42,173    | 2,499,148  | 235,847    | 315,756             | 2,183,392            | 61%        | 2%     |
| OAXACA                | 448,665    | 333,276   | 2,355,580  | 1,758,439  | 1,611,205           | 744,375              | 88%        | 47%    |
| PUEBLA                | 589,485    | 289,570   | 3,325,681  | 1,679,075  | 1,447,747           | 1,877,934            | 82%        | 26%    |
| QUERETARO             | 120,503    | 50,776    | 735,259    | 315,304    | 388,982             | 346,277              | 73%        | 9%     |
| QUINTANA ROO          | 44,440     | 17,228    | 223,199    | 93,416     | 92,474              | 130,725              | 74%        | 19%    |
| SAN LUIS POTOSÍ       | 283,031    | 152,161   | 1,663,132  | 907,414    | 887,870             | 775,262              | 86%        | 18%    |
| SINALOA               | 319,834    | 108,442   | 1,833,487  | 664,917    | 800,334             | 1,033,153            | 66%        | 13%    |
| SONORA                | 276,848    | 63,603    | 1,501,184  | 353,675    | 445,870             | 1,055,314            | 62%        | 7%     |
| TABASCO               | 180,929    | 60,661    | 1,054,257  | 380,042    | 657,011             | 397,246              | 54%        | 6%     |
| TAMAULIPAS            | 379,476    | 62,029    | 1,912,069  | 342,942    | 478,524             | 1,433,545            | 56%        | 5%     |
| TLAXCALA              | 92,327     | 36,322    | 550,201    | 214,639    | 236,117             | 314,084              | 66%        | 19%    |
| VERACRUZ              | 1,015,323  | 398,595   | 5,356,637  | 2,255,356  | 2,644,394           | 2,712,243            | 73%        | 12%    |
| YUCATÁN               | 200,966    | 88,648    | 1,057,388  | 481,371    | 281,692             | 775,696              | 81%        | 33%    |
| ZACATECAS             | 184,132    | 69,977    | 1,132,494  | 437,636    | 710,398             | 422,096              | 55%        | 11%    |
| NACIONAL              | 12,074,609 | 3,450,479 | 66,365,920 | 19,864,432 | 22,513,556          | 43,852,364           | 61%        | 14%    |

BASE DE DATOS POR ESTADO, 1980

| ESTADO                | SATSEMI<br>LEÑA | SATURACIÓN MIXTA |        | USUARIOS DE LEÑA |           | USUARIOS MIXTOS |           | TOTAL USUARIOS |           | TOTAL<br>NACIONAL |
|-----------------------|-----------------|------------------|--------|------------------|-----------|-----------------|-----------|----------------|-----------|-------------------|
|                       |                 | RURAL            | URBANA | RURAL            | URBANA    | RURAL           | URBANA    | RURAL          | URBANO    |                   |
| AGUASCALIENTES        | 91%             | 53%              | 40%    | 57,732           | 14,175    | 81,799          | 5,670     | 139,531        | 19,845    | 169,376           |
| BAJA CALIFORNIA NORTE | 75%             | 61%              | 40%    | 24,937           | 13,456    | 105,396         | 5,382     | 130,333        | 18,838    | 149,172           |
| BAJA CALIFORNIA SUR   | 75%             | 15%              | 40%    | 39,272           | 25,194    | 9,627           | 10,078    | 48,899         | 35,272    | 84,170            |
| CAMPECHE              | 97%             | 25%              | 40%    | 93,105           | 66,354    | 32,205          | 26,542    | 125,310        | 92,896    | 218,205           |
| COAHUILA              | 95%             | 58%              | 40%    | 132,614          | 23,012    | 202,718         | 9,205     | 335,332        | 32,217    | 367,548           |
| COLIMA                | 91%             | 45%              | 40%    | 40,399           | 26,848    | 39,122          | 10,739    | 79,521         | 37,587    | 117,108           |
| CHIAPAS               | 98%             | 13%              | 40%    | 1,178,735        | 234,859   | 177,425         | 93,944    | 1,356,160      | 328,803   | 1,684,963         |
| CHIHUAHUA             | 95%             | 23%              | 40%    | 406,408          | 98,324    | 127,705         | 39,330    | 534,113        | 137,654   | 671,766           |
| DISTRITO FEDERAL      | 97%             | 97%              | 40%    | 0                | 71,462    | 0               | 28,585    | 0              | 100,047   | 100,047           |
| DURANGO               | 95%             | 37%              | 40%    | 343,493          | 63,734    | 215,031         | 25,494    | 558,524        | 89,228    | 647,751           |
| GUANAJUATO            | 91%             | 25%              | 40%    | 811,895          | 181,699   | 307,390         | 72,680    | 1,119,285      | 254,379   | 1,373,664         |
| GUERRERO              | 98%             | 14%              | 40%    | 1,036,657        | 241,657   | 166,756         | 96,663    | 1,203,413      | 338,320   | 1,541,733         |
| HIDALGO               | 97%             | 24%              | 40%    | 764,639          | 76,484    | 248,042         | 30,594    | 1,012,681      | 107,078   | 1,119,759         |
| JALISCO               | 91%             | 34%              | 40%    | 602,386          | 183,478   | 365,356         | 73,391    | 967,742        | 256,869   | 1,224,612         |
| EDO. DE MÉXICO        | 97%             | 39%              | 40%    | 900,233          | 380,158   | 614,027         | 152,063   | 1,514,260      | 532,221   | 2,046,481         |
| MICHOACAN             | 91%             | 23%              | 40%    | 903,536          | 315,092   | 310,256         | 126,037   | 1,213,792      | 441,129   | 1,654,921         |
| MORELOS               | 97%             | 55%              | 40%    | 104,510          | 102,681   | 136,458         | 41,072    | 240,968        | 143,753   | 384,721           |
| NAYARIT               | 78%             | 31%              | 40%    | 147,128          | 38,013    | 96,145          | 15,205    | 243,273        | 53,218    | 296,491           |
| NUEVO LEON            | 78%             | 17%              | 40%    | 192,510          | 43,337    | 54,481          | 17,335    | 246,991        | 60,672    | 307,663           |
| OAXACA                | 98%             | 11%              | 40%    | 1,411,801        | 346,638   | 169,567         | 138,655   | 1,581,368      | 485,293   | 2,066,661         |
| PUEBLA                | 97%             | 15%              | 40%    | 1,183,999        | 495,076   | 224,069         | 198,030   | 1,408,068      | 693,106   | 2,101,174         |
| QUERETARO             | 97%             | 24%              | 40%    | 283,801          | 31,503    | 94,520          | 12,601    | 378,321        | 44,104    | 422,425           |
| QUINTANA ROO          | 97%             | 24%              | 40%    | 68,110           | 25,306    | 22,035          | 10,122    | 90,145         | 35,428    | 125,573           |
| SAN LUIS POTOSÍ       | 86%             | 0%               | 40%    | 767,763          | 139,651   | 0               | 55,860    | 767,763        | 195,511   | 963,274           |
| SINALOA               | 78%             | 12%              | 40%    | 531,272          | 133,645   | 93,581          | 53,458    | 624,853        | 187,103   | 811,956           |
| SONORA                | 78%             | 16%              | 40%    | 275,558          | 78,117    | 72,551          | 31,247    | 348,109        | 109,364   | 457,473           |
| TABASCO               | 94%             | 40%              | 40%    | 354,614          | 25,428    | 262,490         | 10,171    | 617,104        | 35,599    | 652,703           |
| TAMAULIPAS            | 78%             | 23%              | 40%    | 266,642          | 76,300    | 107,670         | 30,520    | 374,312        | 106,820   | 481,132           |
| TLAXCALA              | 97%             | 31%              | 40%    | 155,867          | 58,772    | 73,779          | 23,509    | 229,646        | 82,281    | 311,926           |
| VERACRUZ              | 94%             | 21%              | 40%    | 1,919,377        | 335,979   | 564,395         | 134,392   | 2,483,772      | 470,371   | 2,954,142         |
| YUCATÁN               | 97%             | 17%              | 40%    | 227,583          | 253,788   | 47,015          | 101,515   | 274,598        | 355,303   | 629,901           |
| ZACATECAS             | 86%             | 31%              | 40%    | 391,904          | 45,732    | 217,986         | 18,293    | 609,890        | 64,025    | 673,915           |
| NACIONAL              | 91%             | 30%              | 50%    | 15,618,480       | 4,245,952 | 5,239,594       | 1,698,381 | 20,858,074     | 5,944,333 | 26,802,406        |

## BASE DE DATOS POR ESTADO, 1990

| ESTADO                | VIVTOT     | VIVLEÑA   | POBTOT     | POBLEÑA    | RURAL<br>POB < 2500 | URBANA<br>POB > 2500 | SATURACIÓN |        |
|-----------------------|------------|-----------|------------|------------|---------------------|----------------------|------------|--------|
|                       |            |           |            |            |                     |                      | RURAL      | URBANA |
| AGUASCALIENTES        | 129,853    | 5,972     | 714,542    | 36,225     | 168,962             | 545,580              | 17%        | 1%     |
| BAJA CALIFORNIA NORTE | 362,727    | 5,860     | 1,615,395  | 23,148     | 151,057             | 1,464,338            | 7%         | 1%     |
| BAJA CALIFORNIA SUR   | 67,304     | 5,472     | 309,966    | 26,644     | 69,099              | 240,867              | 29%        | 3%     |
| CAMPECHE              | 107,894    | 34,437    | 525,660    | 183,363    | 160,405             | 365,255              | 76%        | 17%    |
| COAHUILA              | 404,691    | 18,439    | 1,955,567  | 91,901     | 275,061             | 1,680,506            | 28%        | 1%     |
| COLIMA                | 88,627     | 8,334     | 420,397    | 40,447     | 71,476              | 348,921              | 33%        | 5%     |
| CHIAPAS               | 594,025    | 361,754   | 3,184,658  | 2,063,877  | 1,913,754           | 1,270,904            | 89%        | 28%    |
| CHIHUAHUA             | 529,799    | 68,007    | 2,398,319  | 317,553    | 552,107             | 1,846,212            | 48%        | 3%     |
| DISTRITO FEDERAL      | 1,789,171  | 8,802     | 8,163,961  | 38,509     | 21,901              | 8,142,060            | 12%        | 0%     |
| DURANGO               | 262,164    | 48,724    | 1,342,285  | 270,985    | 574,961             | 767,324              | 40%        | 5%     |
| GUANAJUATO            | 687,136    | 131,766   | 3,933,098  | 783,487    | 1,457,060           | 2,476,038            | 45%        | 5%     |
| GUERRERO              | 501,725    | 241,742   | 2,580,189  | 1,340,668  | 1,251,101           | 1,329,088            | 84%        | 21%    |
| HIDALGO               | 362,933    | 155,365   | 1,869,089  | 833,399    | 1,042,648           | 826,441              | 70%        | 13%    |
| JALISCO               | 1,029,178  | 86,471    | 5,235,463  | 463,517    | 962,257             | 4,273,206            | 38%        | 2%     |
| EDO.MEXICO            | 1,876,545  | 212,394   | 9,758,406  | 1,214,175  | 1,530,588           | 8,227,818            | 57%        | 4%     |
| MICHOACAN             | 663,496    | 182,620   | 3,494,088  | 1,021,537  | 1,361,845           | 2,132,243            | 55%        | 13%    |
| MORELOS               | 244,958    | 28,609    | 1,184,235  | 154,454    | 171,831             | 1,012,404            | 39%        | 9%     |
| NAYARIT               | 168,451    | 22,280    | 807,003    | 113,126    | 312,912             | 494,091              | 32%        | 2%     |
| NUEVO LEON            | 642,298    | 30,087    | 3,075,173  | 149,063    | 248,079             | 2,827,094            | 50%        | 1%     |
| OAXACA                | 587,131    | 378,025   | 3,019,560  | 1,987,701  | 1,828,257           | 1,191,303            | 88%        | 32%    |
| PUEBLA                | 772,461    | 297,373   | 4,103,102  | 1,676,933  | 1,473,322           | 2,629,780            | 78%        | 20%    |
| QUERETARO             | 193,434    | 49,094    | 1,041,425  | 286,821    | 423,396             | 618,029              | 60%        | 5%     |
| QUINTANA ROO          | 102,859    | 27,756    | 479,664    | 148,047    | 128,903             | 350,761              | 78%        | 13%    |
| SAN LUIS POTOSI       | 379,336    | 146,995   | 1,990,592  | 818,655    | 898,164             | 1,092,428            | 79%        | 10%    |
| SINALOA               | 422,242    | 56,696    | 2,173,603  | 307,992    | 791,607             | 1,381,996            | 34%        | 3%     |
| SONORA                | 378,587    | 33,298    | 1,798,442  | 161,014    | 380,539             | 1,417,903            | 33%        | 3%     |
| TABASCO               | 285,319    | 88,016    | 1,493,087  | 520,808    | 756,026             | 737,061              | 60%        | 10%    |
| TAMAULIPAS            | 488,508    | 46,773    | 2,221,638  | 231,942    | 425,877             | 1,795,761            | 43%        | 3%     |
| TLAXCALA              | 137,135    | 30,717    | 758,762    | 177,024    | 178,926             | 579,836              | 41%        | 18%    |
| VERACRUZ              | 1,262,509  | 437,411   | 6,183,387  | 2,383,692  | 2,726,513           | 3,456,874            | 72%        | 12%    |
| YUCATAN               | 273,958    | 101,740   | 1,354,285  | 556,953    | 291,322             | 1,062,963            | 84%        | 29%    |
| ZACATECAS             | 238,779    | 42,669    | 1,271,214  | 239,912    | 690,006             | 581,208              | 32%        | 3%     |
| NACIONAL              | 16,035,233 | 3,393,698 | 80,456,255 | 18,663,572 | 23,289,962          | 57,166,293           | 51%        | 9%     |

BASE DE DATOS POR ESTADO, 1990

| ESTADO                | SATSEMP<br>LEÑA | SATURACIÓN MIXTA |        | USUARIOS DE LEÑA |           | USUARIOS MIXTOS |           | TOTAL USUARIOS |           | TOTAL<br>NACIONAL |
|-----------------------|-----------------|------------------|--------|------------------|-----------|-----------------|-----------|----------------|-----------|-------------------|
|                       |                 | RURAL            | URBANA | RURAL            | URBANA    | RURAL           | URBANA    | RURAL          | URBANO    |                   |
| AGUASCALIENTES        | 86%             | 69%              | 50%    | 29,450           | 6,775     | 115,857         | 3,388     | 145,307        | 10,163    | 155,470           |
| BAJA CALIFORNIA NORTE | 63%             | 55%              | 50%    | 11,311           | 11,837    | 83,184          | 5,919     | 94,496         | 17,756    | 112,250           |
| BAJA CALIFORNIA SUR   | 63%             | 33%              | 50%    | 20,224           | 6,420     | 23,001          | 3,210     | 43,225         | 9,630     | 52,855            |
| CAMPECHE              | 96%             | 20%              | 50%    | 121,687          | 61,676    | 32,658          | 30,838    | 154,345        | 92,514    | 246,859           |
| COAHUILA              | 93%             | 65%              | 50%    | 76,588           | 15,313    | 178,607         | 7,857     | 255,195        | 22,970    | 278,165           |
| COLIMA                | 86%             | 53%              | 50%    | 23,648           | 16,799    | 37,821          | 8,400     | 61,469         | 25,199    | 86,668            |
| CHIAPAS               | 97%             | 8%               | 50%    | 1,710,147        | 353,730   | 150,447         | 176,865   | 1,860,594      | 530,595   | 2,391,189         |
| CHIHUAHUA             | 93%             | 45%              | 50%    | 262,975          | 54,578    | 249,258         | 27,289    | 512,233        | 81,887    | 594,100           |
| DISTRITO FEDERAL      | 96%             | 83%              | 50%    | 2,721            | 35,788    | 18,280          | 17,894    | 21,001         | 53,682    | 74,683            |
| DURANGO               | 93%             | 53%              | 50%    | 231,060          | 39,925    | 302,376         | 19,963    | 533,436        | 59,888    | 593,324           |
| GUANAJUATO            | 86%             | 41%              | 50%    | 650,748          | 132,739   | 602,324         | 66,370    | 1,253,072      | 199,109   | 1,452,180         |
| GUERRERO              | 97%             | 13%              | 50%    | 1,055,122        | 285,546   | 161,226         | 142,773   | 1,216,348      | 428,319   | 1,644,667         |
| HIDALGO               | 96%             | 26%              | 50%    | 727,113          | 106,286   | 272,671         | 53,143    | 999,784        | 159,429   | 1,159,213         |
| JALISCO               | 86%             | 48%              | 50%    | 369,418          | 94,099    | 458,123         | 47,050    | 827,541        | 141,149   | 968,690           |
| EDO. DE MÉXICO        | 96%             | 39%              | 50%    | 872,009          | 342,166   | 595,655         | 171,083   | 1,467,664      | 513,249   | 1,980,913         |
| MICHOACAN             | 86%             | 31%              | 50%    | 748,681          | 272,856   | 422,506         | 136,428   | 1,171,187      | 409,284   | 1,580,471         |
| MORELOS               | 96%             | 57%              | 50%    | 66,547           | 87,907    | 98,220          | 43,954    | 164,767        | 131,861   | 296,627           |
| NAYARIT               | 67%             | 35%              | 50%    | 101,642          | 11,484    | 108,357         | 5,742     | 209,999        | 17,226    | 227,225           |
| NUEVO LEON            | 67%             | 17%              | 50%    | 123,754          | 25,309    | 43,286          | 12,655    | 167,040        | 37,964    | 205,003           |
| OAXACA                | 97%             | 9%               | 50%    | 1,607,337        | 380,364   | 170,135         | 190,182   | 1,777,472      | 570,546   | 2,348,018         |
| PUEBLA                | 96%             | 18%              | 50%    | 1,152,082        | 524,851   | 260,670         | 262,426   | 1,412,752      | 787,277   | 2,200,029         |
| QUERETARO             | 96%             | 36%              | 50%    | 253,453          | 33,368    | 152,537         | 16,684    | 405,990        | 50,052    | 456,042           |
| QUINTANA ROO          | 96%             | 18%              | 50%    | 100,826          | 47,221    | 23,207          | 23,611    | 124,033        | 70,832    | 194,865           |
| SAN LUIS POTOSÍ       | 79%             | 0%               | 50%    | 713,755          | 104,900   | 0               | 52,450    | 713,755        | 157,350   | 871,105           |
| SINALOA               | 67%             | 33%              | 50%    | 270,636          | 37,356    | 260,620         | 18,678    | 531,256        | 56,034    | 587,290           |
| SONORA                | 67%             | 34%              | 50%    | 124,690          | 36,324    | 130,694         | 18,162    | 255,384        | 54,486    | 309,870           |
| TABASCO               | 91%             | 31%              | 50%    | 450,396          | 70,412    | 236,748         | 35,206    | 687,144        | 105,618   | 792,762           |
| TAMAULIPAS            | 67%             | 24%              | 50%    | 184,159          | 47,783    | 102,598         | 23,892    | 286,757        | 71,675    | 358,432           |
| TLAXCALA              | 96%             | 55%              | 50%    | 72,712           | 104,312   | 98,858          | 52,156    | 171,570        | 156,468   | 328,038           |
| VERACRUZ              | 91%             | 19%              | 50%    | 1,970,500        | 413,192   | 507,597         | 206,596   | 2,478,097      | 619,788   | 3,097,885         |
| YUCATÁN               | 96%             | 13%              | 50%    | 243,483          | 313,470   | 36,834          | 156,735   | 280,317        | 470,205   | 750,522           |
| ZACATECAS             | 79%             | 47%              | 50%    | 220,360          | 19,552    | 323,211         | 9,776     | 543,571        | 29,328    | 572,899           |
| NACIONAL              | 86%             | 35%              |        | 14,569,234       | 4,094,338 | 6,257,566       | 2,047,189 | 20,826,800     | 6,141,507 | 26,968,307        |