

SUBSECRETARÍA DE POLÍTICA ENERGÉTICA Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

Balance nacional de energía 2002



Secretaría de Energía

FELIPE CALDERÓN HINOJOSA

Secretario de Energía

NICÉFORO GUERRERO REYNOSO

Subsecretario de Electricidad

FRANCISCO BARNÉS DE CASTRO

Subsecretario de Hidrocarburos

HÉCTOR MOREIRA RODRÍGUEZ

Subsecretario de Política Energética
y Desarrollo Tecnológico

MANUEL MINJARES JIMÉNEZ

Oficial Mayor

JOSÉ ALBERTO GARIBALDI FERNÁNDEZ

Director General

Oficina del Subsecretario de Política
Energética y Desarrollo Tecnológico

JOSÉ LUIS GONZÁLEZ ACUÑA

Director General Adjunto de Información

MAXIMILIANO CORTÁZAR LARA

Director General

de la Unidad de Comunicación Social

Responsables

Germán Alarco Tosoni
Director de Formulación de Balances y Anuarios

Jorge Nuño Lara
Subdirector de Consumo de Energía

Vicente Aguilar Alejandre
Subdirector de Información Energética

Raisa Almaguer Ramos
Juan C. Barajas Abreo
Victor Bazán Perkins
Teodoro Cano Miguel
Gustavo Jiménez Rivas
Ma. del Carmen Melo Díaz
Gloria Salas Cisneros
Colaboradores Estudios Energéticos

Rodolfo Díaz Jiménez
Omar Maserá Cerutti

Uso de leña en México: situación actual, retos y oportunidades

Leonardo Arroyo Trejo
Fernando Hernández Sotelo
Omar Reyes Chávez
Schumann Solís Ovis
Servicio social

Edición

Gabriela García Treviño
Directora de Difusión

Teresa Mira Hatch
Subdirectora de Comunicación Gráfica

Graciela Gómez Plata
Jefa del Departamento de Diseño Gráfico

Elizabeth Barrera Solís
Formación editorial

© Secretaría de Energía
Primera edición, 2003

Derechos reservados. Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier método.

Secretaría de Energía
Insurgentes Sur 890
Col. Del Valle
CP 03100
México, DF

ISBN: 968-874-169-8
Impreso en México

*Agradecemos la participación de las siguientes entidades e instituciones
que hicieron posible integrar este documento:*

Aeropuertos y Servicios Auxiliares	Comisión Nacional para el Ahorro de Energía
Asociación Mexicana de la Industria Automotriz	Consejo Nacional de Población
Asociación Nacional de Energía Solar	Empresas de transporte ferroviario
Asociación Nacional de la Industria Química	Empresas productoras de cigarros
Asociación Nacional de Productores de Autobuses, Camiones y Tractocamiones	Empresas productoras de fertilizantes
Asociación Nacional de Productores de Refrescos y Aguas Carbonatadas	Empresas productoras de vidrios
Asociación Nacional de Productores y Distribuidores de Agua Purificada	Gobiernos de las Entidades Federativas
Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción	Instituto Mexicano del Aluminio
Cámara Mexicana de la Industria del Transporte Marítimo	Instituto Mexicano del Petróleo
Cámara Minera de México	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
Cámara Nacional de la Cerveza y la Malta	Minera Carbonífera Río Escondido y Minerales Monclova, SA. de CV.
Cámara Nacional de la Industria de la Celulosa y el Papel	Petróleos Mexicanos
Cámara Nacional de la Industria de la Construcción	Productores Independientes de Energía Eléctrica
Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
Cámara Nacional de la Industria Hulera	Secretaría de Economía
Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcoholera	Servicio de Transportes Eléctricos del DF
Cámara Nacional del Cemento	Sistema de Transporte Colectivo Metro
Comisión Federal de Electricidad	Sistema de Transporte Colectivo Metrorrey
Comisión Reguladora de Energía	Sistema de Tren Eléctrico Urbano de Guadalajara

Índice

9	Presentación	52	11. Autogeneración de energía eléctrica
11	Introducción	53	12. Fuentes renovables y alternas de energía
13	Síntesis	54	13. Implantación de programas de ahorro de energía y sustitución de energéticos
17	Aspectos metodológicos	61	Información regional
33	Balance nacional de energía 2002	63	Energía primaria
35	1. Producción de energía primaria	67	Energía secundaria y total
37	2. Comercio exterior de energía primaria	83	Consumos de energía del sector público
37	3. Oferta interna bruta de energía primaria	97	Estudios energéticos
38	4. Destino de la energía primaria	99	1. Uso de leña en México: situación actual, retos y oportunidades
39	5. Centros de transformación	111	2. Matriz insumo-producto del sector energético mexicano 2000
39	5.1 Energía primaria a transformación por centro de destino	121	3. Inventario nacional de energías renovables
39	5.2 Energía primaria a transformación por tipo de energético	133	4. Carbón y coque de carbón en el sector energético mexicano
40	5.3 Productos obtenidos en los centros de transformación	143	Anexo
40	5.4 Pérdidas por transformación	181	Indicadores seleccionados
41	6. Comercio exterior de energía secundaria	195	Relación de cuadros, diagramas, esquemas y figuras
41	7. Consumo nacional de energía	201	Referencias para la recepción de comentarios y propuestas
42	8. Consumo final total de energía		
43	9. Consumo final de energéticos por sectores		
43	9.1 Sector residencial, comercial y público		
43	9.2 Sector transporte		
44	9.3 Sector agropecuario		
44	9.4 Sector industrial		
44	10. División del consumo de energía por rama de actividad económica		
44	10.1 Sector residencial, comercial y público		
45	10.2 Sector transporte		
46	10.3 Sector industrial		

Estudios energéticos

1. Uso de la leña en México: situación actual, retos y oportunidades

Rodolfo Díaz Jiménez y Omar Masera Cerutti¹

Antecedentes

La estimación confiable del consumo de la leña en México continúa siendo una deficiencia del Balance nacional de energía (BNE). Desde la incorporación de este energético al BNE, a mediados de los años ochenta, se han realizado varias modificaciones y correcciones, en la mayoría de las cuales su participación ha disminuido. Para la estimación de esta fuente de energía se han usado metodologías poco claras, con grandes deficiencias e inconsistencias; esto ha ocasionado la subestimación de su participación. La estimación reportada por la SENER es menor a los valores considerados en los estudios realizados por Masera (1993), Masera et al. (1993), Sheinbaum (1996) y Díaz (2000).

Ante la necesidad de contar con una mejor estimación del consumo de leña, Masera (1993) determinó a partir de la metodología conocida como “usos finales”, su participación en México. Posteriormente Díaz (2000) propone una mayor desagregación de esta metodología y elabora una serie histórica (1960-2000) coherente y precisa del consumo residencial de leña en el país².

El primer acercamiento de la SENER con esta metodología, se da el año pasado en el BNE 2001 al presentar una sección denominada “Estudios energéticos”, en la cual se incluye el trabajo: “Determinación de los consumos de leña como energético a nivel nacional” (SENER, 2002). Dicho estudio se basó (como se aclaró en la versión electrónica del BNE, 2001) en la metodología propuesta por Masera (1993 y 1995) y Díaz (2000). Incluso, la mayor parte del reporte contiene textos íntegros de la tesis de maestría denominada: “Consumo de leña en el sector residencial de México. Evolución histórica y emisiones de CO₂ (Díaz, 2000)”³.

¹ Los autores son respectivamente miembros del Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada A. C. (GIRA) con correo electrónico rdiaz@oikos.unam.mx y del Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIECO), UNAM, Campus Morelia y correo electrónico omasera@oikos.unam.mx. La responsabilidad por su contenido es exclusiva de sus autores.

² Remitimos a los lectores a los trabajos originales para mayor detalle.

³ Nota del editor: En el estudio publicado en el Balance nacional de energía 2001 se señaló en forma expresa que el mismo fue de exclusiva responsabilidad de sus autores, Ingenieros Angel Jiménez de la Luz e Iván Vera Romero, estudiantes del Programa de Posgrado en Ingeniería en Energía de la UNAM.

Sin embargo, la metodología no fue utilizada con la rigurosidad requerida y por lo tanto, los resultados no reflejan la situación real del consumo nacional de leña. A pesar de que los autores no estamos completamente de acuerdo con los resultados generados el año pasado, en el presente trabajo se evitará en lo posible repetir la metodología y nos concentraremos en analizar algunos temas de suma importancia para entender la dinámica del uso de la leña en México; así como en el planteamiento de algunas alternativas que promuevan el uso sustentable de la leña.

En la primera parte de este trabajo se presentará un resumen de los principales estudios sobre el consumo de leña realizados en México, señalando sus aportaciones y debilidades. Posteriormente se hará una regionalización del consumo de leña en nuestro país. Asimismo se estiman las emisiones de CO₂ asociadas al uso de leña; y finalmente se presentarán algunas alternativas para realizar un uso eficiente de este combustible.

El uso de leña en México

En México se estima que la leña aporta entre el 8% y el 10% de la energía final y entre el 36% y el 45% del sector residencial (SENER, 2002; Díaz, 2000; Masera, 1993; Sheinbaum, 1996).

Algunas de las principales estimaciones nacionales del consumo de leña en nuestro país se muestran en la Tabla 1. Para comentarlas muy brevemente se agrupan en dos tipos:

Estudios generales

En esta categoría ubicamos a los estudios que se realizaron usando sólo información de los usuarios de leña y del consumo *per cápita* en determinado tiempo. Tal es el caso de la SARH (1980) y Guzmán *et al.*, (1985). A pesar de que estos estudios presentan una estimación muy gruesa, se muestran para apreciar que la simple multiplicación de usuarios de leña por el consumo *per cápita* arroja valores superiores a los reportados por la SENER. Existen algunas otras estimaciones que son simples recopilaciones de estudios como en el caso de Tripp y Arriaga (2001) y SENER (2002).

Estudios detallados

Los estudios detallados sobre el consumo de leña en las comunidades rurales se realizan mayormente en la década de los ochenta. En 1987 la entonces SEMIP (1988) realiza un estudio detallado de la energía rural de nuestro país aplicando encuestas en 110 comunidades. Asimismo, incorpora la información de 42 poblaciones generada por el Instituto de Investigaciones Eléctricas (1986). El estudio de la SEMIP es la primera aproximación al consumo real de la leña en México. Sin embargo, por razones desconocidas los resultados que arroja este estudio no se incluyen en el BNE⁴.

Tabla 1. Estimaciones del consumo residencial de leña en México

Estimación	Consumo energético (PJ/año)	Volumen (m ³ /año)
SARH (1981)	n.d (1980)	17.3 - 27.6
Guzmán et al., (1985)	412 (1970)	33.0
	402 (1980)	32.0
SEMIP (1988)	293 (1988)	n.d.
Masera et al., (1993)	246 (1987)	23.2
INIFAP (Castillo et al., 1989)	n.d.	17.0
Masera (1993)	334 (1990)	34.6
Sheinbaum (1996)*	277 (1980)	n.d.
	274 (1990)	n.d.
Díaz y Masera (1999)	300 (1990)	n.d.
Díaz (2000)	316 (1990)	29.4-34.3
	320 (2000)	
SENER (2002)	256 (2001)	n.d.
	338 (2001)	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.

Posteriormente Masera (1993) retoma la base de datos de la SEMIP, hace algunos ajustes y genera una propuesta metodológica clara que permite estimar de forma más precisa el consumo de leña en México. Asimismo, estima la demanda de leña de la pequeña industria y analiza los impactos ambientales ocasionados por el uso de este combustible.

⁴ Nota del editor: Esta afirmación es inexacta, ya que los consumos per cápita de la leña obtenidos del estudio de la SEMIP son utilizados para la serie oficial de producción - consumos de leña incluida en el Balance nacional de energía.

Utilizando el enfoque de usos finales (Reddy, 1987) o de abajo hacia arriba “botton-up” (Schipper *et al.*, 1985) y haciendo una desagregación mayor de los usos finales de la leña, Masera *et al.*, (1993) y Sheinbaum (1996), logran mejores estimaciones del consumo de este energético en el sector residencial.

Finalmente, Díaz (2000) basándose en el enfoque de usos finales (Reddy, 1987) propone una metodología con un mayor nivel de desagregación de las tareas energéticas o usos finales; la cual permite estimar el consumo de leña en el sector residencial de México. Siendo su expresión matemática la siguiente:

$$(1) \quad E_{Lt} = PCs * f * \sum_i \sum_j \sum_k (S_{ijkt} * CU_{ijkt}) + PI_t$$

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.

Brevemente se hará un recuento de las principales consideraciones para cada miembro de la ecuación 1. Para la determinación del poder calorífico (PC) de la leña, se revisaron estudios internacionales efectuados para diferentes tipos de madera (dura y suave) y los pocos estudios realizados en México. Como el contenido de humedad (CH) es un factor determinante del PC, se obtuvo una humedad promedio de la madera a partir de valores generados por varios estudios efectuados en nuestro país (Masera *et al.*, 1997; Arias *et al.*, 2000; Farfán, *et al.*, 1990; Sánchez *et al.*, 1990; Moreno y Garay, 1990). En el caso de la saturación de los usuarios de leña, se utilizó información censal del INEGI y se incorporó a los usuarios que utilizan leña y gas LP simultánea-

mente (usuarios mixtos). Asimismo esta variable se desagregó en usuarios rurales y urbanos. Respecto al consumo *per cápita* de leña, se hizo una profunda revisión de estudios de caso y se asignaron consumos diferenciados para los usuarios exclusivos de leña y los usuarios mixtos. Como la pequeña industria no era el objeto de dicho estudio, se asumió que demanda alrededor del 10% del consumo residencial como previamente había estimado Masera (1993).

Además del enfoque metodológico, una de las mayores aportaciones del estudio realizado por Díaz (2000), es la elaboración de la primera serie histórica coherente de consumo de leña para el periodo 1960-1990, misma que se proyecta al año 2000. Asimismo, ante la gran heterogeneidad del consumo de leña en el país, propone una agrupación de los estados a partir de las variables: 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. También estima las emisiones de CO₂ generadas por la combustión de leña en el sector residencial de México.

Por su parte la SENER (2002), para la estimación del consumo de leña sólo señala que: “El consumo nacional de leña se obtiene a partir de coeficientes de consumo per cápita... que se multiplican por las poblaciones respectivas ... Luego... los consumos ... se multiplican por los poderes caloríficos de la leña...”. A pesar de que no se señala, es evidente que se está usando la metodología propuesta por Díaz (2000). Lo cual no necesariamente implica que el consumo reportado por la dependencia es real, ya que esta metodología aún se puede mejorar y por el momento deja abierta la posibilidad de suponer algunas variables. Vale la pena mencionar que en años anteriores no se señalaba la forma en que se calculaba el consumo de leña. Cabe mencionar que la serie de consumo de leña reportada por la SENER inicia en 1965.

Una de las principales deficiencias de esta estimación es el uso de un PC de la leña inferior al promedio reportado por estudios nacionales e internacionales; que desde 1996, cuando se ajusta el BNE al Sistema Internacional de Unidades es igual a 14,486 MJ/t.

Por otra parte, el estudio presentado el año pasado por estudiantes del posgrado en ingeniería de la UNAM, sólo resume (usando textos completos) la metodología propuesta por Díaz (2000) y hace algunas consideraciones que no son correctas. Una de ellas es que se decide que el consumo de leña decrece, a partir de 1970, en un 5% por la disminución de los usuarios

exclusivos de leña; sin embargo, la tasa media de crecimiento anual para el periodo 1960–1990 como señala Díaz (2000) es de -0.6%, esto es, -6.0% por década. Sin embargo, esta tendencia no puede traducirse de manera directa en el consumo de leña ya que se presenta un crecimiento de los usuarios mixtos; los cuales no presentan gran diferencia en el consumo de este energético respecto a los usuarios exclusivos (2.1 kg/per cápita/año contra 1.8 kg/per cápita/año). Otro error grave es considerar que el consumo de la pequeña industria es similar en todos los estados del país (10% adicional al consumo del sector residencial). Estas industrias presentan un patrón de concentración similar a la de los usuarios de leña (Masera, 1993; Díaz, 2000) y se ubican principalmente en los estados del centro y sur del país.

Como puede observarse, la necesidad de estimar de manera precisa y clara la demanda de leña en México es indiscutible. Así como también es evidente que la metodología propuesta por Díaz (2000) puede y debe mejorarse incorporando los siguientes temas: a) el consumo de leña en la pequeña industria, b) la madera destinada a la elaboración de carbón y c) la madera o desperdicios destinados al calentamiento de agua en calentadores de leña.

Por lo tanto, se propone la expresión matemática siguiente para determinar el consumo total de madera para energía en México.

$$(2) \quad E_{Lt} = PCS * f * \sum_i \sum_j \sum_k (S_{ijkt} * CU_{ijkt}) + PI_t + MC_t$$

Donde los nuevos términos de la ecuación se definen como:

PI_t = Consumo energético de las pequeñas industrias en el año t (PJ/año), para cada tipo (ladrillo, teja, cobre, cerámica, etc.). Y eso se da mediante el producto del consumo unitario CU de cada tipo por la saturación de la PI.

MC_t = Madera destinada a la producción de carbón.

Ventajas de la metodología de usos finales

La aplicación de este enfoque permite realizar una estimación transparente y precisa basada tanto en información de los censos de población (INEGI), como en resultados de estudios de caso. Asimismo permite agrupar el consumo de leña por subsectores (rural o urbano), por el tipo de usuario (exclusivos de leña o mixtos); por regiones, estados o municipios. Esta agrupación del consumo de leña permite determinar los impactos ambientales tanto locales como globales; asimismo facilita la elaboración de medidas y políticas encaminadas al uso sustentable de la leña.

Otra ventaja de esta metodología, es que se puede generar datos más precisos en la medida que se cuente con información detallada de otros usos; como por ejemplo la madera usada en los calentadores de agua.

El patrón de uso actual de la leña

A partir de esta metodología se observa que el consumo total de leña no ha disminuido sensiblemente desde 1960. Más que una sustitución total de la leña por otro combustible, se presenta un uso mixto de combustibles (leña-gas LP). Durante la década de los noventa, ante el constante incremento del GLP la gente regresó al uso de leña. A pesar de que actualmente el precio se mantiene estable, el encarecimiento de la vida sigue causando el retorno de los usuarios de GLP al uso mixto de leña y gas.

Existe una tendencia inversamente proporcional entre tamaño de localidad y usuarios exclusivos de leña, es decir a menor tamaño de la localidad, mayor porcentaje de usuarios exclusivos de leña. Por su parte, el número de usuarios mixtos se incrementa al aumentar el tamaño de la población. Es importante destacar que el criterio que señala el INEGI para población rural no es completamente válido cuando se trata del consumo de leña. Existe información que demuestra (Masera *et al.*, 1997) que poblaciones urbanas siguen usando leña ya sea de forma exclusiva o combinada con GLP. Tal es el caso de Pátzcuaro, Mich., con más de 50 mil habitantes, donde el 15% de su población usa este energético.

El ahorro de leña que obtienen los usuarios mixtos es relativamente pequeño, 16% en promedio. Esta mínima diferencia se debe a que las principales tareas energéticas (elaboración de tortillas, cocimiento de frijoles y otros platos tradicionales) se continúan realizando con leña y el gas solo es usado para calentar los alimentos y elaborar algunos alimentos de poca demanda energética (la estufa de gas se usa como tecnología complementaria, como el horno eléctrico o de microondas en las zonas urbanas).

Respecto a la comercialización de este combustible, se estima que la mayor parte de la leña consumida por el sector doméstico urbano y alrededor del 15% de la rural es comprada. Riegelhaupt (1997) estima que anualmente se venden unos 6 millones de toneladas (7.8 millones de m³) a un precio promedio de 25 dólares por tonelada, con un valor de mercado de 150 millones de dólares/año en el sector residencial. Por otra parte, el valor de la leña usada en los sectores comercial e industrial, unos 6 millones de t/año o 7.8 millones de m³/año, se estima en 120 millones de dólares anuales. Si a esto se agrega el carbón, el mercado de madera para energía supera los 280 millones de dólares por año. Mientras que el valor comercial de la madera en rollo puede estimarse en los 240 millones de dólares al año.

Consumo de leña por regiones

El patrón de consumo de leña en México es muy heterogéneo. Para conocer con detalle la dinámica de uso de este energético, sus posibles impactos ambientales y para poder elaborar medidas que ayuden a usar de forma eficiente este recurso, es necesario agrupar a los usuarios de leña a partir de características comunes. En su momento la antigua SEMIP (1988) agrupó al país en ocho regiones (a partir de consideraciones socioeconómicas). Posteriormente Díaz (2000) efectúa una clasificación de los estados por su consumo de leña en cuatro grupos, para tal propósito 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. Como resultado se obtuvo la siguiente clasificación:

a) Región poco crítica, integrada por: Baja California, Baja California Sur, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Sinaloa, Sonora y Tamaulipas.

b) Región medianamente crítica, compuesta por: Aguascalientes, Campeche, Chihuahua, Durango, Jalisco, Estado de México, Querétaro, San Luis Potosí, Tlaxcala y Zacatecas.

c) Región crítica, formada por: Chiapas, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán.

Actualmente, Masera *et al.*, (2003) han desarrollado una herramienta denominada WISDOM (Woodfuel Integrated Supply/Demand Overview Mapping) para realizar balances de oferta-demanda de leña e identificar áreas prioritarias.

La metodología WISDOM

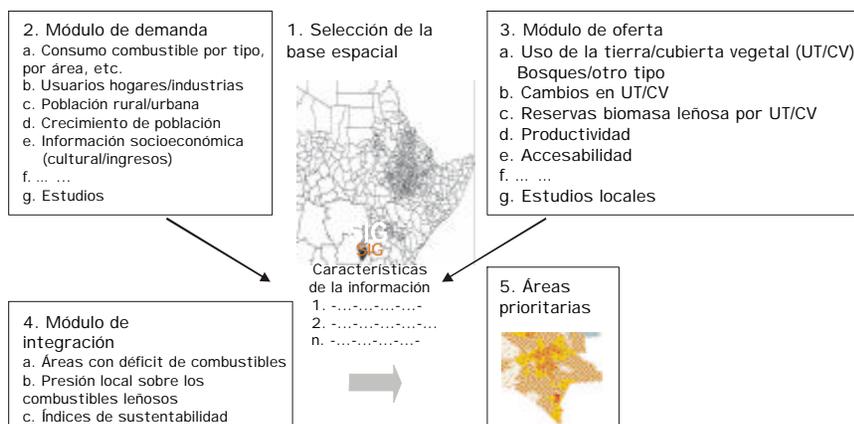
La metodología WISDOM es una herramienta espacial que permite determinar áreas prioritarias por el uso de leña. Esta herramienta se basa en los sistemas de información geográfica (SIG) y permite combinar e integrar información estadística y espacial sobre la producción (oferta) y el consumo (demanda) de combustibles leñosos (leña, carbón vegetal y otros biocombustibles). Asimismo permite la presentación de resultados visuales comprensibles y sencillos tanto para funcionarios, usuarios como para especialistas en el tema. Es posible utilizarlo para hacer análisis a diferentes escalas (subregión, región, país) y más que ser un instrumento operacional es una herramienta de planeación estratégica que se propone integrar la información existente (actualmente está muy dispersa) sin necesidad de generar nuevos estudios que son lentos y costosos.

Una de las ventajas es que puede adaptarse a la información disponible, ya sea directa (consumo de leña y su tendencia, productividad) o indirecta (variables relativas a la oferta y demanda de biocombustibles).

El uso de WISDOM comprende cinco pasos principales (Figura 1):

1. Definición de la unidad espacial mínima de análisis.
2. Desarrollo del módulo de demanda.
3. Desarrollo del módulo de oferta.
4. Desarrollo del módulo de integración.
5. Selección de las áreas prioritarias.

Figura 1. Pasos de la metodología WISDOM



Aplicación del WISDOM para México

Para la aplicación de este enfoque en México (Masera *et al.*, 2002) partieron de la información mostrada en la Tabla 2.

Paso 1: Determinación de la unidad espacial mínima de análisis: el municipio.

Es la unidad administrativa menor de nuestro país, para cada municipio el INEGI proporciona información básica como coordenadas, área, población, etc.

Paso 2: Desarrollo del módulo de demanda. La información del INEGI se usó como base para este módulo, ya que reporta variables sociodemográficas, calidad de vida, etc. Para el caso del consumo de leña, se asignaron consumos por tipo de vegetación a partir del estudio realizado por Díaz (2000).

Paso 3: Construcción del módulo de oferta. Este módulo se basó en la información generada en el último Inventario Nacional Forestal (Palacio *et al.*, 2000). Dicha información se adecuó a las necesidades de este estudio, simplificándose las variables ya que no se necesitan tantas categorías de vegetación.

Tabla 2. Principales características del uso de leña en México

Uso de leña en México	El principal combustible de madera es la leña y se concentra en las áreas rurales. La mayor parte de la leña es recolectada o comprada en mercados locales. La leña proviene tanto de bosques comerciales como no comerciales y una mínima parte de áreas agrícolas. La principal demanda de leña es el sector residencial y la demanda de la pequeña industria es importante y se localiza en regiones específicas.
Objetivo y alcance del estudio	Determinar las áreas prioritarias en México en el año 2000. Las áreas prioritarias se definen como zonas en donde se observa: elevada demanda de leña, alta densidad y crecimiento de los usuarios de leña, alta resiliencia del consumo de leña (en términos sociales y culturales); y escasos o limitados recursos de madera. Por el momento el análisis se concentró únicamente en la leña, en el sector residencial y en los usuarios exclusivos de leña.
Unidad espacial mínima de análisis	La unidad elegida fue el municipio. En nuestro país los municipios ascienden a 2,460 y el INEGI proporciona información sobre ellos.
Módulo de demanda	Las dos principales fuentes de información para este módulo fueron: a) los censos de población 1980, 1990 y 2000; y b) una exhaustiva revisión de estudios locales, regionales y nacionales en el sector residencial.
Módulo de oferta	Para la construcción de este módulo se parte del Inventario Forestal Nacional 2000, realizado a una escala de 1/250,000. A partir de los 69 tipos de cobertura vegetal se agruparon en siete grandes tipos (Velázquez <i>et al.</i> 2001). Se asumieron diferentes productividades promedio para los distintos tipos de uso de la tierra y cobertura vegetal (UT/CV).
Módulo de integración y sistema de información geográfica SIG	Se creó un SIG usando una plataforma ArcSIG. Esta base de datos incluye información sobre la demanda y oferta de leña para cada uno de los 2,460 municipios.
Áreas prioritarias	Se seleccionó un grupo de variables que no están correlacionadas, agrupando los municipios en cinco categorías: alta, media-alta, media, media-baja y baja (alto consumo, medio-alto consumo, etc.) para cada variable. Posteriormente se creó un índice de prioridad y se agrupó a los municipios en cinco categorías o grupos prioritarios.

Paso 4: Módulo de integración. La información tanto del módulo de demanda como de oferta se combinó para generar algunos indicadores. Se generaron dos variables para los municipios: a) presión sobre los recursos (consumo de leña/área forestal) en ton/ha/año; y b) balance de leña (productividad – consumo) en ton/año.

Paso 5: Identificación de los municipios prioritarios. En este último paso se determinan los municipios prioritarios, para lo cual se realizaron las siguientes tareas:

- 1) Selección de variables robustas asociadas al consumo y oferta de leña por municipio.
- 2) Clasificación de los municipios en cinco grupos a partir de cada variable.
- 3) Construcción de un índice de prioridad por el uso de leña (IPL).
- 4) Agrupación de los municipios a partir del IPL.

1) Selección de variables finales

Mediante una matriz de correlación se seleccionaron diferentes variables asociadas al consumo y oferta de leña que permitieran determinar municipios con elevado consumo de leña, alta densidad de usuarios, y elevadas tasas de crecimiento de los usuarios, así como alta "resiliencia" (respuesta a cambios externos) del consumo de leña (debida a cuestiones sociales y culturales), y pocos o insuficientes recursos.

Las variables que finalmente se eligieron son:

- a) Número total de usuarios de leña
- b) Proporción de hogares que usan leña (saturación de usuarios de leña)
- c) Tasa de crecimiento de los usuarios de leña para el periodo 1990-2000
- d) Densidad de usuarios (número/km²)
- e) Porcentaje de población indígena
- f) Balance de leña (producción-demanda)

2) Agrupación de municipios a partir de las variables seleccionadas

Para cada una de las variables elegidas se clasificaron los municipios en cinco categorías dependiendo de la situación del uso de leña.

- Grupo 1 = prioridad baja
- Grupo 2 = prioridad media-baja
- Grupo 3 = prioridad media
- Grupo 4 = prioridad media-alta
- Grupo 5 = prioridad alta

Para cada una de estas variables se elaboraron mapas para ilustrar los diversos aspectos de la dinámica del uso de leña en México. En total se identificaron 746 municipios que muestran una tasa promedio de crecimiento de los usuarios de leña entre 0% y 2.5% por año. Existen 532 municipios con más del 40% de la población indígena y se concentran en el pacífico sur y la península de Yucatán.

3) Definición de municipios prioritarios

La integración de las seis variables se realizó mediante un índice de prioridad, mediante la siguiente relación (Ecuación 3):

$$(3) \quad FP_{ij} = \sum_1^6 I_i * P_i$$

Donde,

FP_{ij} = índice de prioridad para el municipio "j"

I_i = índice para cada variable usada

P_j = peso de cada variable, para este caso se considera igual a 1.

Figura 2. Municipios prioritarios por consumo y disponibilidad de leña, México 2000

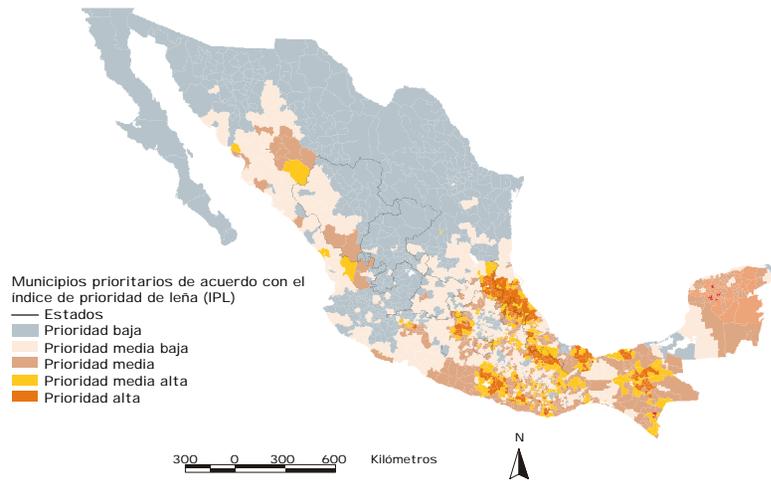


Figura 3. Municipios prioritarios por consumo y disponibilidad de leña, detalle para la región Golfo

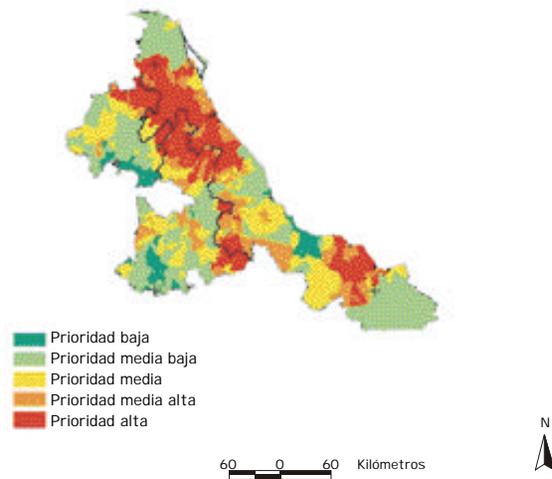
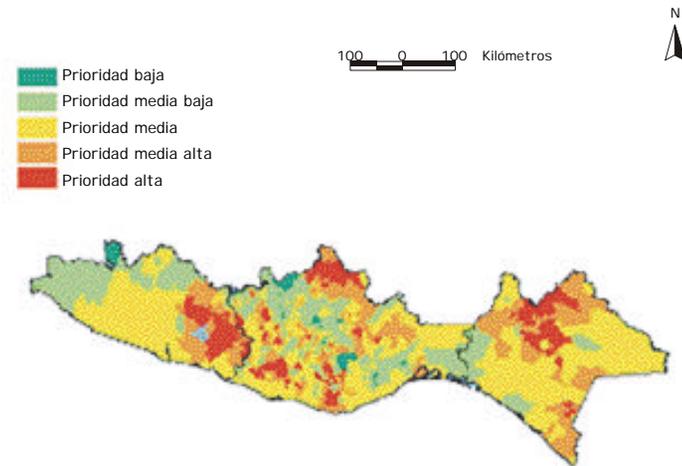


Figura 4. Municipios prioritarios por consumo y disponibilidad de leña, detalle para la región pacífico sur



Los municipios prioritarios se muestran en las figuras 2, 3 y 4.

Este análisis más detallado confirma la heterogeneidad existente en la dinámica de uso de la leña en nuestro país. El análisis estadístico de las variables corroboró los resultados generados. De los 2,402 municipios analizados se encontró que existen:

- a) 273 municipios con alta prioridad
- b) 384 municipios con prioridad media-alta
- c) 461 municipios con prioridad media

Los 273 municipios de alta prioridad requieren una intervención urgente.

Este análisis puede mejorarse si se incluyen los usuarios mixtos, el consumo de leña de las pequeñas industrias, la producción de carbón, el uso de subproductos de madera en calentadores de leña; y sobre todo si se mejoran las estimaciones de la productividad de la leña en los bosques.

Impactos ambientales del uso de leña

En general se piensa que la leña es uno de las principales causas de deforestación, sin embargo estudios detallados (Arias, 1993; Olguín, 1994; Masera, 1993 y 1995; Riegelhaupt, 1997) muestran que esto no es completamente cierto para todo el país. Sin embargo, existen algunas regiones en las que el consumo actual de leña se ha convertido en un problema. En general, una gran cantidad de leña proviene de madera muerta y de árboles ubicados fuera de las zonas boscosas. Además, la madera usada para leña procede en su mayoría de especies no comerciales.

Por el contrario, cuando se usa de manera renovable, la biomasa posee efectos favorables para el ambiente, sirve como reservorio de CO₂ atmosférico, contribuye a la fertilización y estabilización de los suelos; reduce la filtración de agua y evita la desertificación. En el ámbito local, al eliminar la madera muerta se evitan plagas e incendios.

Emisiones de CO₂ por el uso de biomasa

La determinación de las emisiones de los gases de efecto invernadero es muy compleja, observándose mayor dificultad para las fuentes renovables, especialmente para la biomasa. Para el caso de 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.

A partir del consumo de leña por regiones, Díaz (2000) obtiene emisiones de CO₂ por el uso de este energético, considerando 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:

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

Tabla 3. Formas de obtención de leña por región
% de los 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 las anteriores suposiciones de renovabilidad, se aplicó la ecuación 1 para determinar las emisiones de la leña. (Ec. 4)

$$(4) \quad E_L = fC * fO * fCO_2 (C_{TL} - C_{RL})$$

Donde:

E_L = Emisiones de CO₂ por el uso de leña (ton de CO₂/año)

fC = Contenido de carbono en la madera (50%)

fO = Porcentaje de oxidación de la madera durante la combustión (87%)

fCO_2 = Factor de conversión de carbón a CO₂ (44/12)

C_{TL} = Consumo total de leña en ton/año

C_{RL} = Consumo renovable de la leña y que está dado por la relación: $C_{RL} = C_{TL} - (C_{TL} * IRUL)$ (ton/año)

IRUL = Índice de renovabilidad en el uso de la leña

Las emisiones anuales de CO₂ en el país ascendieron en 1990 a 10.2 Mton en el escenario de baja renovabilidad y a 4.2 Mton para una alta tasa de renovabilidad, cifras que representan el 2.3% y 0.9% del total de las emisiones del país respectivamente, considerando que las emisiones totales de CO₂ ascienden a 444.49 Mton (SEMARNAT, 1997). Para el año 2000 se estima que la leña aportó entre 11.2 y 4.7 Mton de CO₂. La mayor cantidad de emisiones se debe a la región crítica cuya participación oscila entre el 85% y 100% de las emisiones en los escenarios respec-

tivos y presenta emisiones que van desde 4.7 hasta 9.4 millones de toneladas de CO₂ en el año 2000. La contribución de las regiones poco y medianamente crítica alcanzan máximos de 0.2 y 1.5 millones de toneladas de CO₂ respectivamente.

Por su parte, Masera y Ghilardi (2003), a partir del estudio de los municipios críticos por el uso de leña estiman que las emisiones de CO₂ oscilan entre 1.9 y 3.8 Mton/año.

Alternativas para promover el uso sustentable de la leña en México

Para todos los sectores consumidores de leña es necesario promover la introducción de tecnologías eficientes, las cuales se pueden combinar con tecnologías basadas en otras fuentes de energía, preferentemente renovables (solar, micro-hidráulica, eólica). Esta acción debe ir acompañada de una intensa campaña de sensibilización ambiental, uso eficiente de la energía e impactos a la salud por el uso de leña.

Es necesario además, plantear políticas energéticas específicas para cada región (estado, municipio) del país. Así como diseñar un programa de incentivos que facilite la adopción de tecnologías eficientes de leña o el uso de energías renovables. No debe dejarse de lado la necesidad de incrementar la investigación y desarrollo, para entender con mayor profundidad la dinámica del uso de leña, así como para desarrollar, adaptar y transferir tecnologías eficientes.

Asimismo se deben promover y coordinar acciones interinstitucionales, ya que la leña como fuente de energía involucra a varias dependencias gubernamentales (Secretaría de Energía, Secretaría de Medio Ambiente, Comisión Nacional Forestal, Secretaría de Salud, Secretaría de Hacienda, entre otras).

Recomendaciones

Las tareas pendientes para mejorar los resultados sobre el uso de madera para energía en nuestro país son:

- a) Incluir a los usuarios mixtos (leña y gas) en las estadísticas oficiales.
- b) Estimar el consumo de leña de la pequeña industria, para lo cual se debe conocer el número de industrias (por tipo) y su respectivo consumo.
- c) Estimar la cantidad de madera destinada a la producción de carbón. A pesar de que no son muy confiables, las estadísticas de la SEMARNAT (número de autorizaciones para producción de carbón) son un buen principio.
- d) La determinación de la madera usada en los calentadores de leña. Esto se puede estimar a partir del número de dispositivos vendidos como propone (Masera *et al.*, 1993).
- e) Mejorar las estimaciones de productividad forestal por tipo de vegetación.
- f) Estimar el mercado de leña en México, ya que hasta el momento sólo se han identificado algunos mercados regionales.
- g) Mejorar los estudios sobre los impactos ambientales generados por el uso de madera para energía.
- h) Mejorar la estimación de las emisiones de CO₂ por el uso de los biocombustibles.
- i) Promover la investigación para comprender la dinámica del uso de leña, así como fomentar la investigación, desarrollo y transferencia de tecnologías a base de leña y fuentes renovables de energía.

Referencias

- Arias, T., P. Yllescas, y J. R. Flores. (2000). *Consumo y disponibilidad de leña en tres microregiones de Chiapas, Veracruz y Campeche. Diagnóstico correspondiente a Veracruz*, Programa de Acción Forestal A. C (PROAFT), México, D. F.
- Díaz R. 2000. *Consumo de leña en el sector residencial de México. Evolución histórica y emisiones de CO₂*. UNAM. Tesis de Maestría.
- Mas, J.F., A. Velázquez, J.L. Palacio-Prieto y G. Bocco, 2002, *Cartographie et Inventaire Forestier au Mexique*, aceptado en Bois et Forêts des Tropiques.
- Mas, J.F., J.L. Palacio, A. Velázquez y G. Bocco, 2001, *Evaluación de la confiabilidad temática de bases de datos cartográficas*, Memoria Digital CD interactivo, I congreso nacional de Geomática, Guanajuato, 26-28 de septiembre de 2001.
- Masera, O. R., R. Drigo, M. A. Trossero. 2003. *Woodfuels Integrated Supply/Demand Overview Mapping (WISDOM): A methodological approach for assessing woodfuel sustainability and support wood energy planning*. FAO Reports, Wood Energy Program, Forest Products Division, FAO, Rome, July.
- Masera, O. R., G. Guerrero, A. Velásquez, F. Mas, M. Ordoñez y R. Drigo. 2002 *Aspatial explicit approach for identifying fuelwood "hot spots" using WISDOM: a case study for Mexico*. FAO Reports, Wood Energy Program, Forest Products Division, FAO, Rome, July.
- Masera O.R. 1993. *Sustainable Fuelwood Use in Rural Mexico, Volume I: Current Patterns of Resource Use*, Report # LBL-34634, Energy and Environment Division, Lawrence Berkeley Laboratory (April).
- Masera O.R., J. Garza y M.J. Ordoñez, 1995. *Regionalización de Dinámicas y Patrones de Uso de Leña a Nivel Municipal*. U.S. Country Study Program-PNUD-INE-EPA.
- Masera, O.R. 1996. *Uso y Conservación de Energía en el Sector Rural: El caso de la leña*. Documentos de Trabajo No. 21, GIRA A.C. Pátzcuaro, México. (febrero) 42 pp.
- Masera, O.R., J. Navia, G Ruiz y S.Ochoa. 1996 *Documento de Situación Dendroenergética Estatal en Michoacán*. Proyecto FAO/MEX/TCP/4553(A). Pátzcuaro, Michoacán. México. Diciembre 25 pp.
- Masera, O.R. J. Navia (Coords), T. Arias y E. Riegelhaupt, 1997. *Patrones de Consumo de Leña en Tres Micro-regiones de México: Síntesis de Resultados*. Proyecto FAO/MEX/TCP/ 4553(A), Pátzcuaro, Michoacán, México. Junio. 42 pp.
- Palacio-Prieto J. L., G.Bocco, A.Velázquez, J.F.Mas, F.Takaki-Takaki, A.Victoria, L.Luna-González, G.Gómez-Rodríguez, J.López-García, M.Palma, I.Trejo-Vázquez, A.Peralta, J.Prado-Molina, A.Rodríguez-Aguilar, R.Mayorga-Saucedo, and F.González. *La Condición Actual de los Recursos Forestales en México: Resultados del Inventario Forestal Nacional 2000. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*43 (2000): 183-203. Riegelhaupt, E. 1997. Situación dendroenergética de México. Proyecto FAO/MEX/TCP/4553(A). México, D. F.
- Secretaría de Energía (Sener), 2002. *Balance Nacional de Energía 2001*. Sener, México D. F.
- Trossero, M. 2002. *Dendroenergía: perspectivas de futuro*. Unasyva 211:53:3-9
- Velázquez, A., J. F. Mas, R. Mayorga-Saucedo, J. L. Palacio, G. Bocco, G. Gómez-Rodríguez, L. Luna-González, I. Trejo, J. López-García, M. Palma, A. Peralta y J. Prado-Molina, y F. González-Medrano. 2001. *El inventario forestal nacional 2000. Potencial de usos y alcances*. Ciencias, 64:13-19.

Referencias para la recepción de comentarios y propuestas

Secretaría de Energía
Subsecretaría de Política Energética y Desarrollo Tecnológico
Insurgentes Sur 890, Piso 3, Col. Del Valle
México, D.F. 03100
Tel. 50 00 60 14
Fax. 50 00 62 23

Coordinadores del documento:

Dirección General Adjunta de Información

Tel. 50 00 60 14

jgleza@energia.gob.mx

Dirección de Formulación de Balances y Anuarios

Tel. 50 00 60 00 ext. 2281

galarco@energia.gob.mx

Subdirección de Consumo de Energía

Tel. 50 00 60 00 ext. 2477

jnuno@energia.gob.mx

Subdirección de Información Energética

Tel. 50 00 60 00 ext. 2224

vaguilar@energia.gob.mx