



COMISIÓN NACIONAL FORESTAL
Bosques y selvas para siempre

La Bioenergía en México

UN CATALIZADOR DEL DESARROLLO SUSTENTABLE

Omar Maserá Cerutti
COORDINADOR



5

Escenarios de bioenergía en México

Tabla 2.1. Valores representativos de la capacidad energética potencial de México.

Escenario	Valor	Unidad
1. Capacidad energética potencial total	1.2	Exajoules (EJ) por año
2. Capacidad energética potencial de los cultivos de maíz	0.5	Exajoules (EJ) por año
3. Capacidad energética potencial de los cultivos de sorgo	0.3	Exajoules (EJ) por año
4. Capacidad energética potencial de los cultivos de caña de azúcar	0.4	Exajoules (EJ) por año
5. Capacidad energética potencial de los cultivos de sorgo y caña de azúcar	0.7	Exajoules (EJ) por año
6. Capacidad energética potencial de los cultivos de maíz, sorgo y caña de azúcar	1.2	Exajoules (EJ) por año
7. Capacidad energética potencial de los cultivos de maíz, sorgo, caña de azúcar y residuos agrícolas	1.5	Exajoules (EJ) por año

En el año 2003 la oferta interna bruta de energía en México fue de 6,471 PJ. Las fuentes renovables de energía representaron el 9.6%: hidroelectricidad (3.2%), bagazo (1.4%), leña (4.0%), geotermia (1.0%) y eoloelectrica (0.001%) (BNE, 2003). En este capítulo se analizarán escenarios de mediano y largo plazo de sustitución de combustibles fósiles por biocombustibles en los sectores de consumo final energético, industrial y transporte, y en el sector eléctrico. Por otro lado, en el sector residencial, se evaluará la reducción en la utilización de leña debido al uso de alternativas tales como estufas de leña eficientes, de biogás y de carbón vegetal.

Los principales biocombustibles analizados son: leña proveniente de plantaciones energéticas, bagazo de caña de azúcar, residuos forestales en aserraderos, biogás de rellenos sanitarios, desechos sólidos municipales, etanol de caña de azúcar y biodiesel de plantas oleaginosas como colza, cártamo y girasol.

5.1. Metodología

Con base en trabajos previos (Islas *et al.*, 2002, 2004) (Manzini *et al.*, 2003) se desarrollaron tres escenarios para México tomando como año de referencia a 1996 y un horizonte de tiempo hacia el año 2030. Las hipótesis sobre las variables macroeconómicas utilizadas se resumen en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Valores supuestos de las variables macroeconómicas utilizadas.

Variable	Valor	Observaciones
1. Crecimiento económico	4%	Anual constante
2. Crecimiento poblacional	1.2%	Anual (138 millones de habitantes al 2030)
3. Estructura de la demanda de uso final de energía	---	Constante
4. Crecimiento de la demanda de energía	4%	Anual constante
5. Crecimiento de la capacidad eléctrica instalada	---	Oficial
6. Crecimiento anual de la capacidad eléctrica instalada	3.4%	Conservador
7. Nueva oferta eléctrica	3%	(Motores diesel)

En el escenario tendencial los combustibles derivados del petróleo, gas natural y el carbón siguen siendo los energéticos de mayor consumo. Particularmente, en el sector eléctrico, todas las nuevas adiciones a la capacidad instalada se realizan con plantas tipo ciclo combinado, con gas natural como combustible (GNCC).

En los otros dos escenarios alternativos, se introduce el uso masivo de la biomasa como energético en los sectores de consumo final y en el sector eléctrico; variando su porcentaje de participación, se crea un escenario moderado y otro alto, donde ambos escenarios son factibles desde un punto de vista técnico, económico e institucional.

Se utilizó el modelo LEAP (Long Range Energy Alternatives Planning System) desarrollado por el Instituto Ambiental de Estocolmo (SEI-B), el cual es un modelo contable Bottom-Up y que se usa para la simulación y evaluación de los efectos (tanto físicos como ambientales) de los escenarios alternativos, en donde los biocombustibles sustituyen a los combustibles fósiles y se propagan estufas eficientes de biomasa.

Sus resultados se obtienen mediante la realización de balances integrales entre la transformación y la demanda de energía y se encuentran determinados por ésta última. Las necesidades energéticas de cada una de las tecnologías de uso final de un área o región se van añadiendo hasta completar una demanda total del sistema modelado. Una vez calculada la energía requerida en la fase de "demanda", se calcula el suministro necesario de energía primaria en la fase de "transformación" para que la satisfaga. A continuación, en la Tabla 5.2 se resumen las hipótesis particulares de las tasas de penetración (TPCA) de los biocombustibles en los sectores considerados.

5.2. Sector energético

5.2.1. Resultados sector energético e industrial

5.2.1.1. Plantaciones energéticas para generación de servicio eléctrico

En la Tabla 5.3 se resumen los resultados obtenidos cuando se incorporan las plantaciones energéticas para generación de electricidad en términos porcentuales de generación, energía primaria y emisiones evitadas, respectivamente, así como los valores absolutos de estas últimas.

Tabla 5.2. Tasas de crecimiento anual (TPCA) de los biocombustibles.

Biocombustible	TPCA en %	Capacidad MW		Eficiencia %	Factor de Planta %	% del Total
		2010	2030			
*Plantaciones energéticas	27	14	1,692	40	70	1.5
	32	24	6,288	40	70	
*Bagazo	5	602	1,598	60	70	1.5
	8	734	3,419	60	70	3.1
**Basura **Pecuarios	20	17.4	668	40	70	0.6
	25	21.4	1,853	40	70	1.7
*Forestales	22	8	432	36	70	0.6
	27	14.2	1,692	36	70	1.5
*Agrícolas	25	11.4	986	36	70	1.0
	30		3,742	36	70	3.4

* Combustión. ** Biogás/Combustión

Bioenergía para autoabastecimiento en el sector industrial

La Tabla 5.4 muestra los resultados obtenidos cuando se incorporan al autoabastecimiento industrial las cuatro opciones de bioenergía (bagazo, desechos agrícolas, desechos sólidos municipales, desechos de animales y desechos de aserraderos) en

Tabla 5.3. Sector eléctrico: Suministro con plantaciones energéticas.

Parámetro	Escenario moderado		Escenario alto	
	2010	2030	2010	2030
Energía 10 ⁶ GJ	2	270	3.2	900
EEG %	0.05	2.56	0.08	9.52
EPC %	0.04	2.8	0.08	9.86
Emisiones de CO ₂ evitadas %	0.1	3.6	0.18	13.3

Nota: EEG (Energía Eléctrica Generada), EPC (Energía Primaria de Consumo)

Tabla 5.4. Sector industrial: Suministro con biogás de basura municipal y residuos pecuarios.

Parámetro	Escenario moderado		Escenario alto	
	2010	2030	2010	2030
Capacidad MW	639	3,684	789	10,705
EEG %	2	5.6	2.6	16.2
EPC %	1.6	5.28	1.7	15.7
Emisiones de CO ₂ evitadas %	4.6	7.84	5.7	22.8

términos porcentuales de generación, energía primaria y emisiones evitadas, respectivamente, así como los valores absolutos de estas últimas.

5.2.1.2 Generación global de electricidad proveniente de la bioenergía

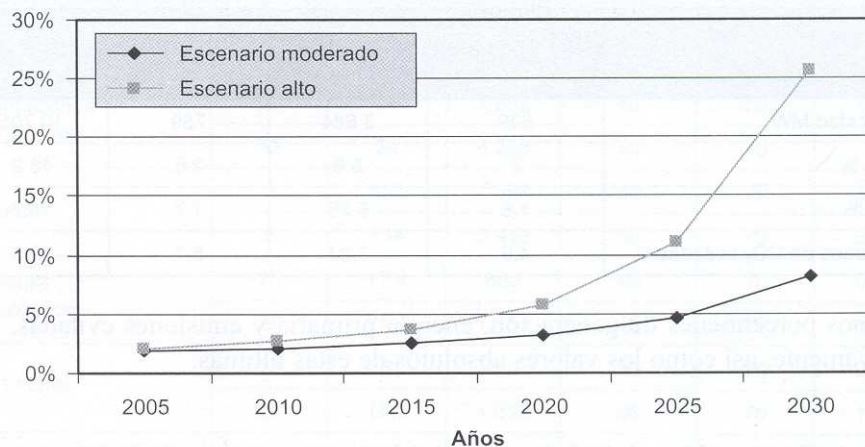
La Tabla 5.5 y la Figura 5.1 muestran los resultados obtenidos cuando se considera la generación global proveniente de la bioenergía para generación de electricidad en términos porcentuales de generación, energía primaria y emisiones evitadas, respectivamente, así como los valores absolutos de estas últimas.

En conjunto, el sector eléctrico y el sector industrial podrían tener una infraestructura que, utilizando bioenergía, reúna en un escenario moderado una capacidad instalada de 653 MW al año en 2010 y de 5,375 MW para 2030, creciendo a una tasa promedio equivalente de 25.3%. La generación proveniente de la bioenergía representaría, con respecto al total, 2.2% para el año 2010 y 8.1% para 2030.

Tabla 5.5. Suministro global. Sectores eléctrico e industrial.

Parámetro	Escenario moderado		Escenario alto	
	2010	2030	2010	2030
Capacidad MW	653	5,375	813	16,992
EEG %	2.2	8.1	1.6	15.5
EPC %	1.4	8.1	1.8	25.6
Emisiones de CO ₂ evitadas %	4.7	11.4	5.85	36.2

Figura 5.1. Generación de electricidad (en %) con bioenergía respecto a la generación eléctrica total.



En términos de energía primaria de consumo para generar electricidad, el aporte de la bioenergía sería de 1.4% y 8.1% para los años 2010 y 2030, respectivamente. Asimismo, las emisiones se reducirían en 4.7% y 11.4% respecto al escenario tendencial, en los años 2010 y 2030, respectivamente, lo que equivaldría a 1,380,674 toneladas menos de CO₂ para 2010 y 11,359,652 toneladas menos para 2030.

En un escenario alto las mismas cinco opciones energético-tecnológicas conformarían una capacidad eléctrica instalada de 813 MW al año 2010 y de 16,992 MW al 2030, equivalente a un incremento anual promedio de 29.6%. La generación eléctrica proveniente de la bioenergía aportaría 1.6% y 15.5% para los años 2010 y 2030, respectivamente. Asimismo, la bioenergía representaría 1.8% y 25.6% de la energía primaria consumida para generación eléctrica en los años 2010 y 2030, respectivamente. Por último, en este escenario las emisiones se reducen un 5.85% y 36.2% en años años 2010 y 2030, respectivamente, cifras que representarían 1,718,182 toneladas menos de CO₂ para 2010 y 35,911,261 toneladas menos para 2030.

5.3. Sector transporte

Desde 1968 hasta la fecha, con excepción del periodo 1983-1987, el sector de consumo final con mayor consumo energético es el sector transporte. En 2003

(BNE, 2003) este sector consumió 1,683.9 PJ, lo cual representa 26% de la oferta interna neta de energía primaria de México. El autotransporte, a su vez, es el modo de transporte que más energía consume con 90.2% del total del sector. La gasolina es el energético más utilizado, 63% del total, seguido por el diesel con 24%.

En la construcción de los escenarios de transporte se han utilizado las siguientes suposiciones, basadas en los potenciales tanto de producción de bioetanol como de biodiesel (ver capítulo 4). En un escenario moderado el uso de bioetanol y biodiesel crecen a la misma TPCA de 25% entre 2005 y 2030, mientras que, en un escenario alto la TPCA considerada es de 30%.

5.3.1. Resultados sector transporte

En las Tabla 5.6 y Tabla 5.7 se resumen los resultados derivados de los escenarios correspondientes al sector transporte, tanto para el bioetanol como para el biodiesel.

Se muestra para los años 2010 y 2030 al igual que en los años anteriores, la aportación de energía en PJ, el aporte de combustible a gasolina y diesel respectivamente, así como las emisiones evitadas con respecto al escenario tendencial de referencia.

Tabla 5.6. Sector transporte: Bioetanol.

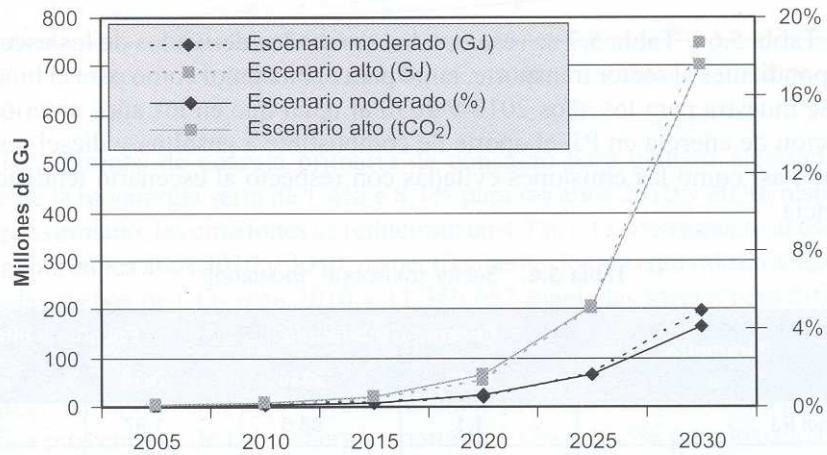
Parámetro	Escenario moderado		Escenario alto	
	2010	2030	2010	2030
Bioetanol PJ	1.1	98.6	1.97	374
Aporte %	0.07	2.8	0.1	11.6
Emisiones de CO ₂ evitadas %	0.08	3.3	0.11	13.7

Tabla 5.7. Sector transporte: Biodiesel.

Parámetro	Escenario moderado		Escenario alto	
	2010	2030	2010	2030
Biodiesel PJ	1.1	98	1.97	374
Aporte %	0.18	7.5	0.3	36
Emisiones de CO ₂ evitadas %	0.14	6.1	0.2	29.4

Tabla 5.8. Sector transporte agrupado.

Parámetro	Escenario moderado		Escenario alto	
	2010	2030	2010	2030
Energía PJ	2.3	197	3.9	748
Aporte %	0.1	4.1	0.17	18
Emisiones de CO ₂ evitadas %	0.1	4.3	0.2	18.7

Figura 5.2. Participación de biocombustibles (bioetanol y biodiesel) en sustitución de gasolina y diesel al año 2030 en el sector transporte (en unidades absolutas y porcentuales para dos escenarios de penetración).

Los totales, agrupados los dos biocombustibles, se muestran en la Tabla 5.8 y en la Figura 5.2. Se puede observar que el aporte de energía es de 748 PJ para 2030 y una sustitución de gasolina y diesel por bioetanol y biodiesel de 18%.

5.4. Sector residencial

Dado que el destino principal de la leña es la cocción de alimentos y en menor proporción para calentamiento de agua, se propone, por un lado, la sustitución del fogón tradicional de leña por una estufa eficiente y, por otro lado, un sustituto de

leña, a saber, biogás consumido en una estufa eficiente. Cabe destacar que una estufa de leña eficiente puede reducir el consumo hasta en una tercera parte respecto al fogón tradicional (Diaz, 2002). De igual manera, en este capítulo se supondrá que el biogás empleado en estufas eficientes puede substituir y reducir hasta en una tercera parte el consumo de leña.

En nuestros escenarios, el biogás se obtiene de las excretas de animales fermentadas en bio-digestores anaeróbicos. En un escenario moderado se considera un incremento promedio anual en la difusión de estufas eficientes de leña y de biogás de 20 y 15%, respectivamente, mientras que en un escenario alto se supone un incremento promedio anual en la difusión de cada una de estas dos opciones de 23 y 18%, respectivamente. En cualquiera de los dos escenarios, las cifras de penetración son tales que las estufas eficientes de leña participan en un 80% en el consumo de bioenergía en este sector mientras que las de biogás en solamente 20%.

5.4.1. Resultados sector residencial

En un escenario moderado al año 2010, se tendría un consumo anual de leña 0.93% menor al consumo que se tendría en un escenario tendencial (sin opciones de reducción), lo que representaría 186,541 toneladas de leña no consumidas. A 2030

Figura 5.3. Reducción de consumo de leña debido al uso de estufas eficientes de leña.

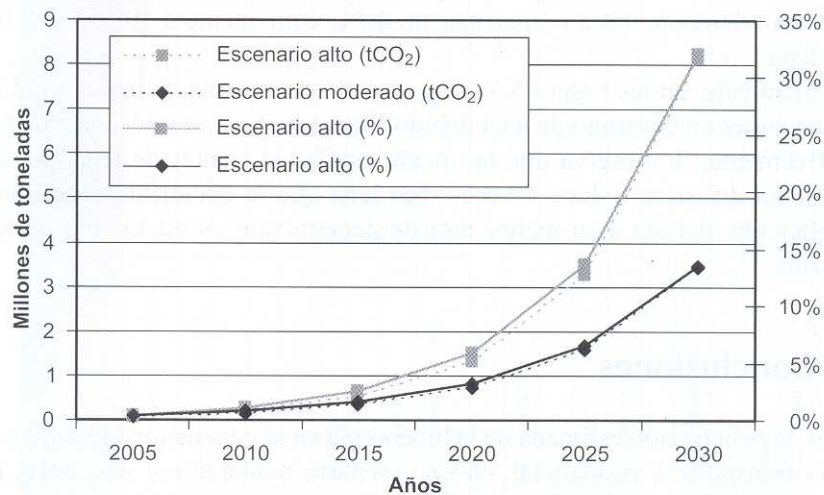
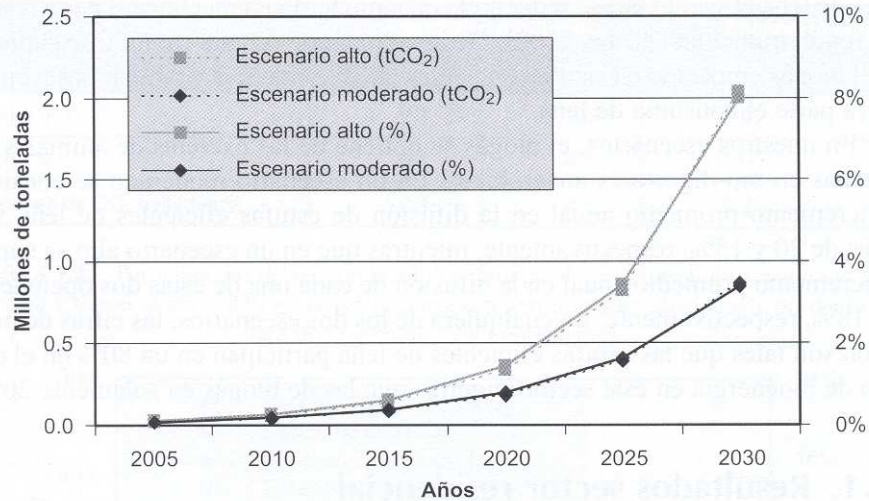


Figura 5.4. Reducción de consumo de leña debido al uso de biogás con estufas eficientes:



este consumo evitado de leña se eleva sustancialmente para ser de 17%, equivalente a 4,310,146 toneladas.

En un escenario alto, al año 2010 se tendría entonces un consumo anual de leña 1.33%, menor al consumo que se tendría en el escenario tendencial, lo que representaría 265,895 toneladas de leña no consumidas. A 2030 esta cifra se incrementaría fuertemente hasta representar un 40%, equivalente a 10,193,779 toneladas de leña.

Finalmente, en las Figura 5.3 y Figura 5.4 se muestran de manera individual las reducciones en consumo de leña debido a estufas eficientes de leña y de biogás, respectivamente. Se observa que la opción estufas eficientes de leña, por la amplitud de su difusión, reduce 4 veces más leña que la opción de biogás con estufas eficiente, debido a su menor tasa de penetración, en cualquiera de los dos escenarios.

5.5. Conclusiones

En total, la penetración estimada de la bioenergía en la generación eléctrica y en los sectores transporte y residencial, en un escenario moderado al año 2010, podría

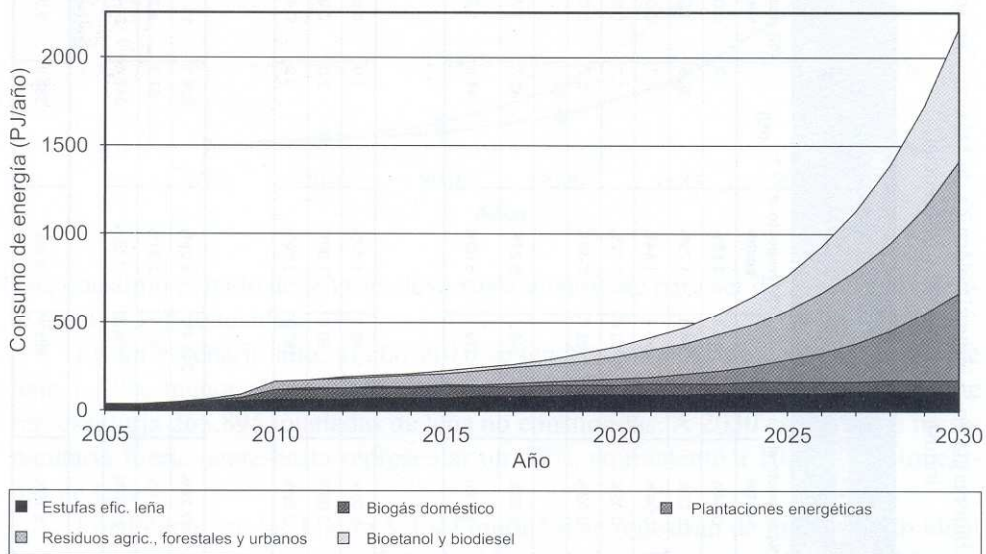
Tabla 5.9. Consumo de bioenergía en la industria eléctrica de México y en sectores de uso final: industrial, transporte y residencial.

RESULTADOS	ENERGÍA							
	ESCENARIO MODERADO				ESCENARIO ALTO			
	2010		2030		2010		2030	
(PJ)	(%) respecto al sector	(PJ)	(%) respecto al sector	(PJ)	(%) respecto al sector	(PJ)	(%) respecto al sector	
Sector eléctrico e industrial								
Plantaciones energéticas	1.1	0.04%	133.4	2.85%	1.9	0.08%	495.7	10.23%
Bagazo	31.7	1.27%	84.0	1.79%	38.6	1.55%	179.7	3.71%
Incineradores	1.0	0.04%	86.4	1.84%	1.7	0.07%	327.7	6.77%
Rellenos sanitarios	1.4	0.06%	52.6	1.12%	1.7	0.07%	146.1	3.02%
Aserraderos	0.4	0.02%	22.7	0.48%	0.7	0.03%	88.9	1.84%
Sector industrial	34.5	1.38%	245.7	5.24%	42.7	1.72%	742.4	15.33%
Sector eléctrico + sector industrial	35.6	1.43%	379.1	8.09%	44.6	1.79%	1238.1	25.56%
Sector transporte								
Etanol	1.1	0.05%	98.6	1.80%	1.9	0.08%	374.2	6.85%
Biodiesel	1.1	0.05%	98.6	1.80%	2.0	0.08%	374.2	6.85%
Etanol + biodiesel	2.2	0.09%	197.2	3.60%	3.9	0.16%	748.4	13.70%
Sector residencial								
Leña	230.0	17.26%	245.4%	9.25%	229.1	17.19%	177.3	6.68%
Biogás	57.6	4.31%	61.4	2.31%	57.3	4.30%	44.3	1.67%
Leña + biogás	287.6	21.57%	306.8	11.56%	286.4	21.48%	221.6	8.35%
Suma sectores EL+IND+TRANSP+RES	325.4	5.15%	883.1	6.9%	334.9	5.31%	2208.1	17.04%

llegar a 325 PJ, equivalente a 5% del consumo energético de estos tres sectores, y en 2030 hasta 883 PJ (7% del consumo total de los sectores considerados) (ver Tabla 5.9).

En un escenario alto, la participación de la bioenergía en la generación eléctrica y los sectores transporte y residencial alcanzaría 335 PJ, para el año 2010 equivalente a 5.3% del total de energía consumida en estos sectores, y en 2030 esta cifra llegaría hasta 2,208 PJ y 17.0%, respectivamente (ver figura 5.5).

Figura 5.5. Penetración futura de las tecnologías bioenergéticas.



Las emisiones de CO₂ no biogénico en este mismo escenario se verían reducidas en los sectores eléctrico y transporte. Hacia 2010, las emisiones evitadas alcanzarían 1.9 millones de toneladas de CO₂, equivalente a 0.8% de las emisiones de los sectores considerados en un escenario tendencial. Para el año 2030 se dejarían de emitir 79 millones de toneladas de CO₂ a la atmósfera, equivalente a 16% de estas emisiones en los sectores considerados en un escenario tendencial (figura 5.6).

Figura 5.6. Emisiones Evitadas de CO₂ por Uso de Bioenergía. México 2010-2030.

