



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

TÍTULO DE LA TESIS

**Balance regional de energía
(Puebla – Tlaxcala 2010): impacto y potenciales**

Que para obtener el Título de:

Ingeniero Químico

Presenta:

RAUL CALIXTO ANDRIANO

Directora de Tesis

M. I. EMMA JUÁREZ NÚÑEZ



Puebla, Puebla 2015



C. Raul Calixto Andriano
PASANTE
LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA
PRESENTE

Oficio No. FIQ/AC/587/2013
Asunto: Registro de Tema de tesis
Fecha: 14 de junio de 2013

Por medio del presente me permito informarle, de la aprobación del Registro de Tema de Tesis de la Licenciatura en Ingeniería Química cuyo título es el siguiente:

“BALANCE REGIONAL DE ENERGÍA (PUEBLA-TLAXCALA, 2010): IMPACTO Y POTENCIALES”

Con el siguiente contenido:

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I	ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS
CAPÍTULO II	BALANCES DE ENERGÍA
CAPÍTULO III	HUELLA DE CARBONO
CAPÍTULO IV	POTENCIALES DE ENERGÍAS NO CONVENCIONALES
CAPÍTULO V	APLICACIÓN A LA REGIÓN PUEBLA-TLAXCALA
CAPÍTULO VI	RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFÍA

Director de Tesis: M.I. Emma Juárez Núñez

Lo cual me permito comunicarle para su conocimiento y fines consiguientes aclarando que la vigencia de este tema será **ÚNICAMENTE POR UN AÑO**.

ATENTAMENTE
“Pensar Bien, Para Vivir Mejor”

M.I.C. MA. GPE. TITA VÁZQUEZ E. DE LOS MONTEROS
SECRETARIA ACADÉMICA
SECRETARIA

C.c.p. Director de Tesis: M.I. Emma Juárez Núñez
Minutario Facultad de Ingeniería Química

Tabla de contenido

Introducción.....	1
Objetivos.....	3
Hipótesis.....	3
1. Antecedentes.....	4
1.1 Contexto energético	5
1.2 El desempeño de México en materia de medio ambiente	8
1.3 Breve historia de la industria en la región Puebla-Tlaxcala	9
1.4 Dinámica poblacional.....	10
2. Balances de energía	15
2.1 Unidad de medición.....	16
2.2 Estructura del balance energético.....	17
2.3 Fuentes de energía	18
2.3.1 Energéticos Primarios	18
2.3.2 Energéticos Secundarios	19
2.4 Flujos de energía.....	23
2.4.1 Energía disponible.....	24
2.4.2 Total transformación	25
2.4.3 Consumo propio del sector energético y pérdidas.....	26
2.4.4 Consumo final.....	26
2.4.5 Diferencia estadística.....	27
3. Huella de carbono	29
3.1 Repercusiones del consumo energético	30
3.2 Protocolo de Kyoto	31
3.3 Gases de efecto invernadero (GEI).....	31
3.4 Huella de carbono	32
3.4.1 Categorías de emisión	33
3.4.2 Niveles de estimación	33
3.4.3 Estructura.....	34
3.4.4 Método de cálculo	34
3.4.4.1 Datos de actividad.....	34
3.4.4.2 Factores de emisión	34

3.4.4.3	Potencial de Calentamiento Global	37
3.4.4.4	Estimación de las emisiones de GEI debido al consumo final de electricidad.....	37
4.	Potenciales de energías no convencionales	39
4.1	Definición de energías renovables no convencionales (ERNC).....	40
4.2	Estado actual de las ERNC en México.....	40
4.2.1	Energía eólica.....	40
4.2.2	Energía solar.....	42
4.2.2.1	Solar Fototérmica.....	42
4.2.2.2	Solar fotovoltaica	43
4.2.3	Energía geotérmica.....	46
4.2.4	Energía hidráulica	46
4.3	Estimación de los potenciales solar y eólico	48
4.3.1	Técnicas de interpolación.....	49
5.	Aplicación a la región Puebla-Tlaxcala	50
5.1	Importancia de las particularidades de una región en el balance energético	51
5.2	Fuentes de información.....	52
5.3	Balance energético	53
5.3.1	Producción de energía primaria.....	53
5.3.2	Entradas de energéticos	55
5.3.3	Salidas de energéticos.....	55
5.3.4	Variación de inventarios.....	56
5.3.5	Energía no aprovechada	56
5.3.6	Transformación.....	56
5.3.7	Consumo propio del sector	59
5.3.8	Consumo final no energético.....	59
5.3.9	Consumo final energético.....	60
5.3.9.1	Sector Residencial, comercial y público.....	60
5.3.9.2	Sector Transporte	62
5.3.9.3	Sector Agropecuario	62
5.3.9.4	Sector industrial	63

5.3.10	Estimación del consumo de energéticos a nivel municipal	65
5.4	Huella de carbono	66
5.4.1	Estimación de las emisiones de GEI debido al consumo de energéticos	66
5.5	Estimación de los potenciales.....	67
5.5.1	Elaboración de los mapas.....	67
5.5.2	Estimación del Potencial Solar.....	69
5.5.3	Estimación del Potencial Eólico.....	70
6.	Resultados y discusión	73
6.1	Balance de energía	74
6.1.1	Producción de energía primaria.....	74
6.1.2	Energía primaria enviada a transformación.....	78
6.1.3	Energía secundaria enviada a transformación.....	79
6.1.3.1	Energía secundaria enviada a transformación en el estado de Puebla.	80
6.1.3.2	Energía secundaria enviada a transformación en el estado de Tlaxcala	81
6.1.4	Producción bruta de energía secundaria.....	81
6.1.5	Consumo total.....	82
6.1.6	Consumo energético final.....	83
6.2	Huella de carbono	86
6.3	Estimación de potenciales.....	88
	Conclusiones.....	90
	Bibliografía.....	92

Introducción

Los balances de energía son una de las herramientas más importantes de la Ingeniería química, aplicados a una región (ya sea un estado, país o el mundo) y considerando las fuentes de energía aprovechadas por el hombre, es posible identificar al petróleo como la base del desarrollo. Este consumo cada vez más demandante se debe a la creciente población que trae consigo un incremento en la demanda de bienes y servicios como lo son el transporte, la vivienda, alimento, etc.

La elaboración de un balance energético requiere de información particular de la región de estudio, pues aunque el aprovechamiento de muchos de los energéticos es generalizado en diversas regiones, no todas cuentan con los mismos recursos energéticos ni se aprovechan en el mismo monto ni se consumen con la misma intensidad.

En el presente trabajo se aborda el estudio de la situación energética en la región comprendida por los estados de Puebla y Tlaxcala, formados a su vez por 217 y 60 municipios, respectivamente, y que albergan la cuarta zona metropolitana más grande del país de acuerdo al Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI)¹.

Esta región está delimitada por las coordenadas 20°50'N, 19°06'S, 97°38'O y 99°04'E, los estados colindantes son Veracruz de Llave e Hidalgo al norte, Oaxaca y Guerrero al sur, Hidalgo, Estado de México y Morelos al este, y Oaxaca y Veracruz de Llave al oeste. En conjunto, representan el 1.9% del territorio nacional con una extensión de 38 303 km², y aportan el 3.8% del PIB nacional².

En el primer capítulo se hace una breve revisión de algunos sucesos históricos a nivel mundial, nacional y regional que resaltan el carácter necesario de estos estudios, así como de algunos aspectos fundamentales de la región.

En el segundo capítulo se abordan los conocimientos necesarios para realizar un balance energético enfocado a un territorio, así como las fuentes de energía contempladas para este estudio y los distintos procesos por los que atraviesan.

En el tercer capítulo se toca el tema de la huella de carbono, su definición, antecedentes, enfoques y consideraciones necesarias para aplicar a la región de estudio.

En el cuarto capítulo se definen las energías renovables no convencionales, se describen las tecnologías existentes para su aprovechamiento y su presencia a

nivel nacional, también se describen los métodos que se emplean para la estimación del potencial y recurso solar y eólico.

En el capítulo cinco se describen las consideraciones necesarias para aplicar estas herramientas a la región de estudio, así como, de manera breve la infraestructura del sector energético existente en la región y otros centros de transformación y consumo, también se detalla el método empleado para la generación de los mapas solar y eólico, y la estimación del potencial y recurso de éstas energías.

En el capítulo seis se exponen los resultados obtenidos y se comparan con valores nacionales e internacionales con el fin de valorar la situación energética de la región de estudio.

Finalmente, se concluye con recomendaciones para fomentar la transición energética, reducir la huella de carbono y avanzar hacia un desarrollo sostenible y la mitigación del cambio climático.

Objetivos

Objetivo general

Aplicar el esquema convencional de un balance de energía a la región Puebla-Tlaxcala.

Demostrar/Estimar el impacto que el aprovechamiento de las energías renovables no convencionales (ERNC) tendrían sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) derivados del consumo energético en la región de estudio para el año 2010.

Objetivos específicos

Para la región de estudio y para el año 2010:

1. Evaluar la situación del sector energético.
2. Cuantificar la Huella de Carbono de los principales gases de efecto invernadero (GEI).
3. Cuantificar el potencial de las energías solar y eólica.

Hipótesis

El aprovechamiento de los recursos solar y eólico en la región de estudio podría contribuir de manera significativa a modificar la matriz energética de la región, reduciendo el consumo de combustibles fósiles, lo que a su vez repercutiría en la disminución de los gases de efecto invernadero provenientes del sector energético.

1. Antecedentes

La energía es definida como la capacidad de un cuerpo para realizar un trabajo³, sin embargo en estadísticas energéticas se llama energía a los recursos energéticos para producir calor, trabajo o electricidad¹⁸. En este marco, un balance de energía es una determinación cualitativa y cuantitativa de las fuentes de energía y los procesos que éstas atraviesan, desde su producción e intercambio hasta su transformación y consumo final, en una región del espacio, denominada sistema, en un lapso de tiempo definido.

Aplicando estos conceptos a una región geográfica, como en el presente estudio, y haciendo hincapié en el consumo antropogénico de energía, se tiene una herramienta de gran utilidad para la toma de decisiones en el marco energético, ya que las estadísticas energéticas sobre el suministro, comercio, inventarios, transformación y demanda son realmente la base para cualquier decisión bien fundamentada sobre política energética⁴.

1.1 Contexto energético

A nivel mundial, la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) realiza estudios sobre la producción, la transformación y el consumo energético, mismos que se condensan en la publicación anual *Key World Energy Statistics* junto con la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) relacionadas con el sector energético.

También, en conjunto con la Agencia de Información Energética de Estados Unidos (EIA por sus siglas en inglés), elabora el estudio *International Energy Outlook* que toma los mismos tópicos pero en prospectiva. Se puede apreciar en la figura 1.1 que la tendencia de producción energética mantendrá a los hidrocarburos a la cabeza de la matriz energética mundial en tanto que la demanda de energía se eleva constantemente año con año.

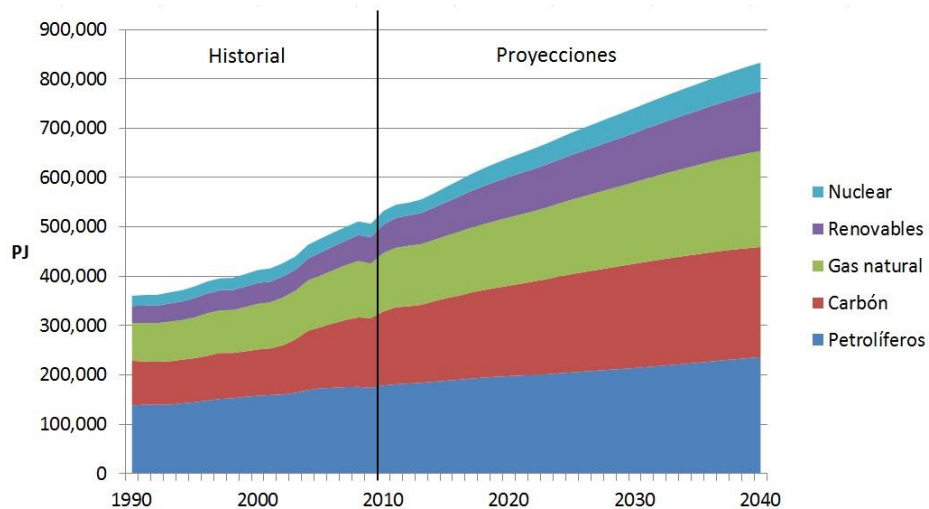


Figura 1.1. Historial y proyección de la producción energética mundial 1990-2040. Elaboración propia con datos del International Energy Outlook 2013. Agencia Internacional de Energía, 2013.

En México, la Secretaría de Energía (SENER) es la responsable de los estudios sobre el mercado energético nacional y publica de manera anual el Balance Nacional de Energía, que también incluye los balances energéticos regionales (ver figura 1.2) y la estimación de las emisiones de GEI derivadas del consumo de energía. Sin embargo, no se han realizado balances enfocados a una región diferente de las contempladas por la SENER.



Figura 1.2. Regiones económicas de México. Tomado del Balance Nacional de energía 2010. SENER, 2011.

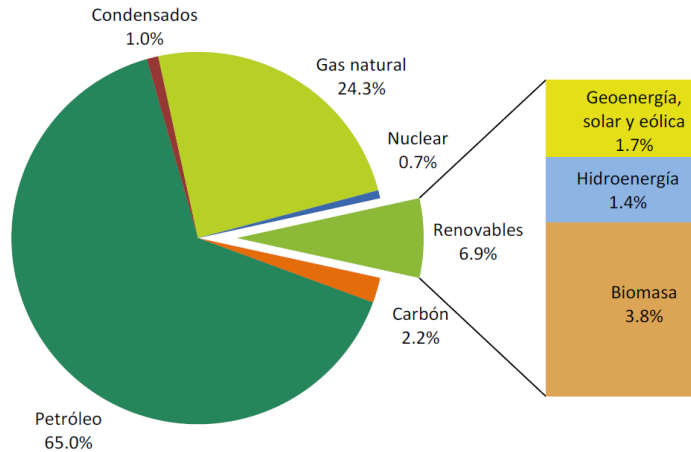


Figura 1.3. Producción energética primaria en México al cierre de 2010, 9250.7 PJ.
Tomados del Balance Nacional de energía 2010. SENER, 2011.

En la figura 1.3 se observa que la producción energética de México está basada principalmente en fuentes fósiles (petróleo crudo, gas natural y carbón), misma que constituyó en 2010 el 92.5% de la producción nacional de energía.

Es importante mencionar que México figuró como el noveno país en producción de petróleo crudo en 2011, sin embargo la limitada capacidad de refinación le obliga a exportar un alto porcentaje del crudo que produce, por lo que fue el décimo país en exportación de petróleo en 2010 y el cuarto en importación de petrolíferos en el mismo año⁵.

De esto se desprende que México no cuenta con una seguridad energética adecuada, pues depende en gran medida de la importación de energéticos.

A nivel estatal, se realizó una estimación del consumo energético y emisiones de GEI provenientes del mismo para el estado de Puebla en el marco de la Estrategia de Mitigación y Adaptación del estado de Puebla ante el Cambio Climático⁶.

Dicha estimación se realizó para el año 2008 para las siete regiones socioeconómicas de Puebla y contó con datos de consumo energético estatal que distribuyó entre ellas empleando el PIB como indicador, las emisiones de GEI se obtuvieron directamente en equivalentes de CO₂. Los resultados se muestran en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Emisiones de GEI a la atmosfera derivados del consumo energético en el estado de Puebla durante 2008. Elaboración propia con datos de Semarnat⁶.

Región socioeconómica	Combustibles fósiles		Combustibles biogénicos		Electricidad		Emisiones totales (TonCO ₂ eq)
	Percápita (kgCO ₂ eq/hab)	Total (TonCO ₂ eq)	Percápita (kgCO ₂ eq/hab)	Total (TonCO ₂ eq)	Percápita (kgCO ₂ eq/hab)	Total (TonCO ₂ eq)	
RI Huauchinango	212.69	137260.04	39.60	25553.12	282.77	182492.50	345305.66
RII Tezuitlán	425.71	221975.17	79.25	41324.18	290.62	151535.50	414834.85
RIII Cd. Serdán	547.31	342077.68	101.89	63683.25	432.64	270407.20	676168.13
RIV San Pedro Cholula	3227.50	9125646.02	656.70	1698882.85	862.54	2231400.10	13055928.97
RV Puebla	555.57	196238.92	103.42	36532.97	436.52	154190.60	386962.49
RVI Izúcar de Matamoros	174.56	40749.07	32.50	7586.08	472.49	110301.20	158636.35
RVII Tehuacán	1046.29	659491.46	194.78	122774.73	402.53	253721.80	1035987.99
Total		10723438.4		1996337.18		3354048.9	16073824.4

También en 2012 el entonces Instituto Nacional de Ecología realizó un estudio para cuantificar los montos de energía para todas las entidades federativas de México¹⁸, sin embargo en el caso de los estados de Tlaxcala y Quintana Roo no fue posible obtener valores estatales por la dependencia que guardan con la infraestructura energética de los estados de Puebla, Campeche y Yucatán. Debido a lo anterior, el consumo estatal fue estimado a partir de la población aunque el mismo estudio recomienda emplear otros indicadores como el PIB o la cantidad de vehículos registrados en los estados.

Recientemente se ha despertado un gran interés por las tecnologías que aprovechan las llamadas energías renovables no convencionales (ERNC), éstas incluyen la geotermia, mini y microhidráulica, eólica, solar, biomasa, maremotriz, etc. Posteriormente, se espera también la aparición de *combustibles solares* que aún se encuentran en desarrollo⁷.

Al año 2008, estas energías en conjunto cubrieron el 12.9%* de los 492 EJ del suministro de energía primaria del planeta, con un valor de 63,468 PJ y crecen a un ritmo exponencial, se espera que continúen en crecimiento en las décadas siguientes⁸.

1.2 El desempeño de México en materia de medio ambiente

México es un país que ha demostrado apego a los tratados internacionales para mejorar la calidad del medio ambiente: ratificó en 1988 el Protocolo de Montreal para reducir las emisiones de sustancias agotadoras de la capa de Ozono (SAO) y adoptó medidas significativas, eliminando en 2005 el uso de clorofluorocarbonos (CFC) en un 90% a nivel nacional, mediante la sustitución de refrigerantes domésticos y 95% de los equipos de refrigeración comerciales, así como la sustitución de propelentes en aerosoles. Asimismo, es un activo partícipe de las

* Incluye grandes hidroeléctricas, geotérmica, solar, eólica, etc. No incluye biomasa ni residuos sólidos urbanos.

enmiendas de dicho protocolo, que han tenido lugar en Londres (1990), Copenhague (1992), Montreal (1997) y Beijing (1999)⁹.

México también ha participado del Protocolo de Kyoto, comprometiéndose a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de manera voluntaria pese a no estar entre los países listados en el anexo A del mismo⁹, ha expedido la Ley General de Cambio Climático, donde se distribuyen responsabilidades en materia de mitigación y adaptación del cambio climático y se crea el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), también en la Estrategia Nacional de Cambio Climático estableció la meta de reducir en un 30% las emisiones de GEI para 2020 y en un 50% para 2050, en relación al año base 2000. Cabe resaltar que México figura como el décimo segundo país con mayores emisiones de GEI¹⁰.

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) estableció desde el año 2006 un Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático (PEACC) para recopilar, sistematizar y actualizar la información requerida para los estudios aquí propuestos.

En este escenario, la huella de carbono juega un importante papel como una herramienta necesaria para la toma de decisiones, principalmente en los Planes Estatales de Acción contra el Cambio Climático (PEACC's) y más recientemente en la elaboración de los Planes de Acción Climática Municipales (PACMUN).

Hasta la fecha, sólo 10 estados han concluido sus PEACC's, 15 están en desarrollo y 1 en planeación¹¹, por su parte, los PACMUN ya han sido terminados para 30 municipios mientras que 212 siguen en desarrollo¹².

Por lo anterior, la Facultad de Ingeniería Química debe integrarse a los esfuerzos de mitigación y adaptación ante el cambio climático, aportando estudios/análisis con enfoque al sector energético, considerado como el principal emisor de GEI.

1.3 Breve historia de la industria en la región Puebla-Tlaxcala

Según Ventura Rodríguez¹³, la industria en Puebla existe desde tiempos del virreinato y llegó a ser la segunda ciudad en importancia en la Nueva España.

Al inicio del proceso industrializador, la rama más importante en ambos estados era la producción textil de productos intermedios, debido a que la producción de algodón se ubicaba en el estado de Veracruz, los procesos de hilatura y tejido en Puebla y Tlaxcala, y el proceso de confección en el Valle de México.

En el periodo comprendido entre 1965 y 1975, se desarrolló en Puebla un periodo de transición de la industria debido al ingreso de las industrias metal-mecánicas (Hylsa de México), Química (Petrocel, CPQ Independencia) y Automotriz (Volks

Wagen de México), además de las empresas Parke Davis y Chiclets Adams de México, todas ellas con capital foráneo que tuvo una inversión superior a los 100 millones de pesos en 1973.

Esto trajo como consecuencia el aumento de la producción manufacturera y el decrecimiento de la producción textil en el estado de Puebla, así como la aparición de proletariado técnicamente más preparado y la migración a estas nuevas ramas.

Es importante observar que, aunque en ambos estados la rama textil predominó durante una larga etapa, la transición en la industria sólo se presentó en Puebla debido a la inserción de nuevas ramas industriales, mientras que en Tlaxcala la textil sigue siendo la rama más importante de la manufactura hasta la fecha.

1.4 Dinámica poblacional

Según el Censo de población y vivienda, la región Puebla-Tlaxcala contó al año 2010 con una población total de 6,949,765 habitantes, de los cuales 48% son hombres y 52% mujeres. El 50.29% de la población se encuentra en 21 de los 277 municipios (ver figura 1.4), de los que 16 pertenecen al estado de Puebla, y es la capital poblana la que concentra la mayor parte de la población: 1,539,819 habitantes, que representa el 22.16% del total de habitantes en la región¹⁴.

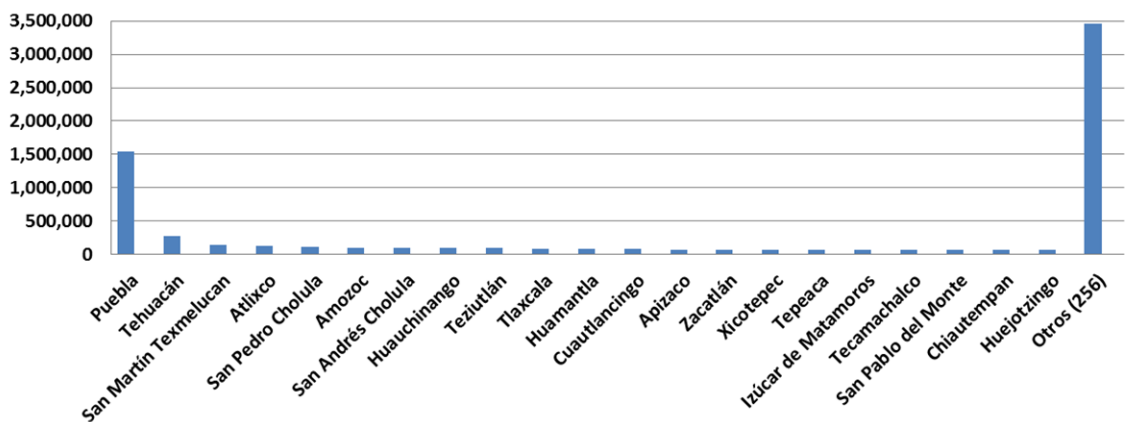


Figura 1.4. Distribución de la población por municipio 2010.

Elaboración propia con datos de los Anuarios Estadísticos de Puebla y Tlaxcala 2012, INEGI.

Aunque la tendencia en la natalidad ha sido a la baja en años recientes, supera con creces el número de defunciones como se puede apreciar en la figura 1.5; la migración neta en la región ha tenido un balance negativo más acentuado en Puebla que en Tlaxcala pero sin ser representativa.

Esto ha provocado un crecimiento poblacional en el periodo de 2000-2010 de 1.29% anual en promedio (ver figura 1.6), y que la densidad de habitantes por km² se haya incrementado de 158.35 a 180.84 en el mismo periodo.

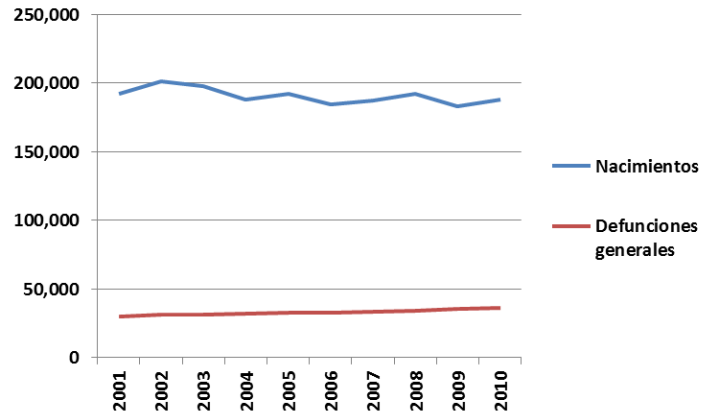


Figura 1.5. Nacimientos y defunciones generales en el periodo 2001 a 2010 en la región Puebla-Tlaxcala. Elaboración propia con datos de los Anuarios estadísticos de Puebla y Tlaxcala ediciones 2010 y 2007, INEGI.

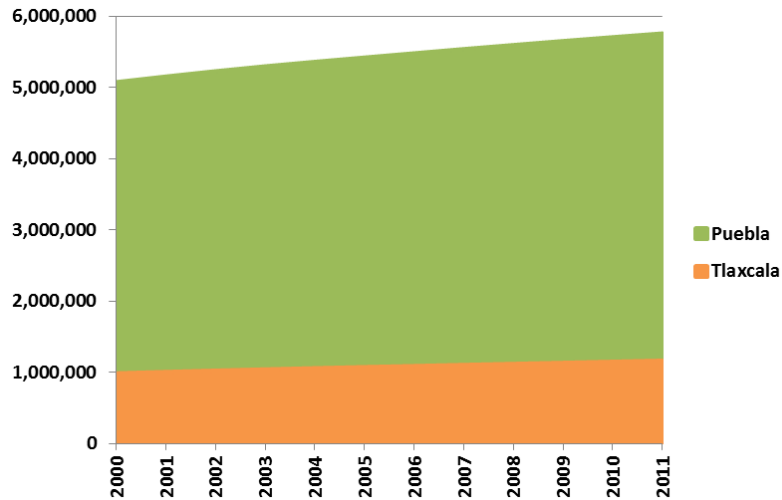


Figura 1.6. Población regional por estado 2000-2011. Elaboración propia con datos de los Anuarios Estadísticos de Puebla y Tlaxcala 2010 y 2007, INEGI.

Aunado al crecimiento económico y poblacional, se presentó un aumento en la cantidad de vehículos registrados en la región (ver figura 1.7), principalmente en los autos particulares, que casi se han duplicado en el periodo 2004-2011^{15,16}.

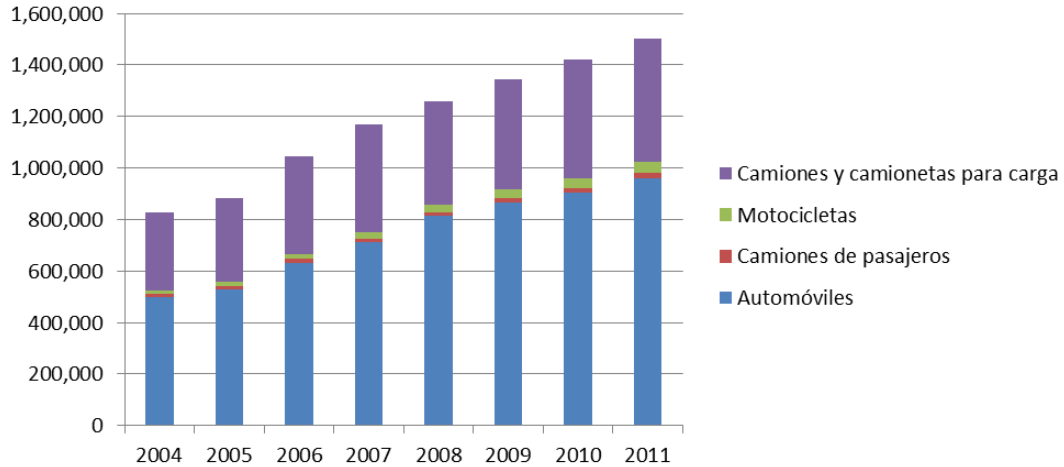


Figura 1.7. Evolución de vehículos automotores registrados en la región Puebla-Tlaxcala. Elaboración propia con datos de los anuarios estadísticos de los Estados de Puebla y Tlaxcala, varias ediciones, INEGI.

La región comprendida por los Estados de Puebla y Tlaxcala engloba a las Zonas Metropolitanas* de Tlaxcala-Apizaco, Tehuacán, Tezuitlán y Puebla-Tlaxcala (ZMPT), esta última (ver figura 1.8) considerada como la cuarta en importancia a nivel nacional, sólo después de las Zonas Metropolitanas del Valle de México (ZMVM), Guadalajara y Monterrey¹.

* Se considera una zona metropolitana a “al conjunto de dos o más municipios donde se localiza una ciudad de 50 mil o más habitantes, cuya área urbana, funciones y actividades rebasan el límite del municipio que originalmente la contenía, incorporando como parte de sí misma o de su área de influencia directa a municipios vecinos, predominantemente urbanos, con los que mantiene un alto grado de integración socioeconómica. También se incluyen a aquellos municipios que por sus características particulares son relevantes para la planeación y política urbanas de las zonas metropolitanas en cuestión. Adicionalmente, se define como zonas metropolitanas a todos aquellos municipios que contienen una ciudad de un millón o más habitantes”. Fuente: Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México 2010. INEGI 2012.

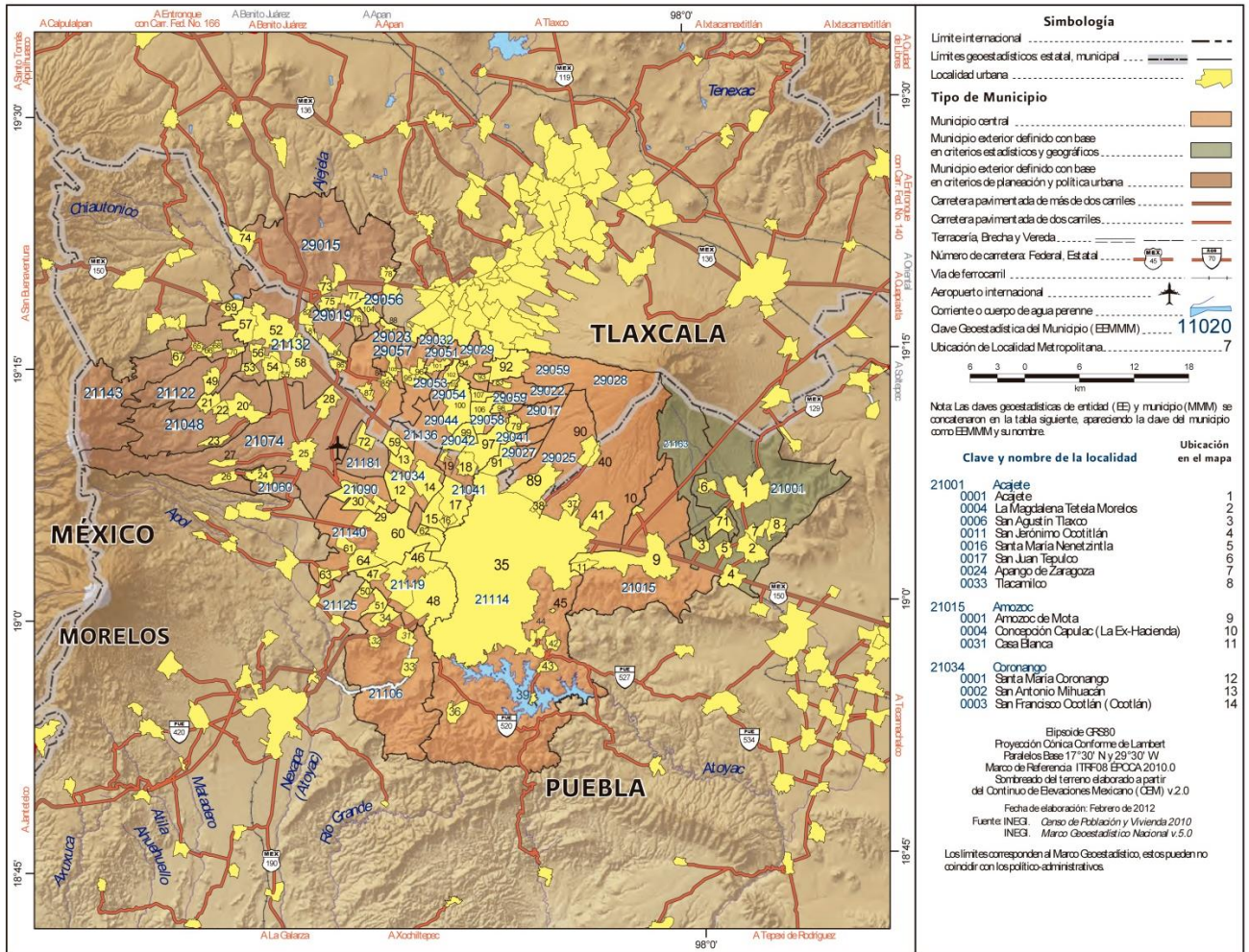


Figura 1.8. Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala.
Tomado de Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México 2010. INEGI 2012.

El estado de Puebla, a diferencia del estado de Tlaxcala, ha dividido en siete regiones socioeconómicas debido a su extensión: Huauchinango, Teziutlán, Cd. Serdán, San Pedro Cholula, Puebla, Izúcar de Matamoros y Tehuacán¹⁷.

La ubicación de cada región económica en la región Puebla-Tlaxcala se muestra en la figura 1.9, asimismo los municipios que comprende cada una se lista en el anexo 1.

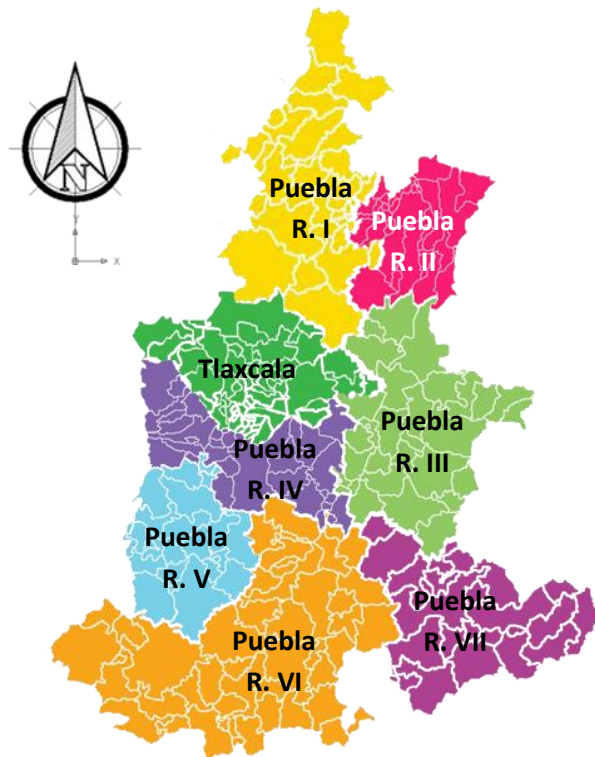


Figura 1.9. División de las regiones socioeconómicas de la región de estudio.
Elaborado con imágenes del INAFED.

2. Balances de energía

Un balance de energía es una forma de presentar la información de la oferta y la demanda de energía para una zona geográfica específica y para un periodo de tiempo determinado¹⁸, se basa en un conjunto de relaciones de equilibrio que contabiliza los recursos energéticos que se producen (origen), los que se intercambian con el exterior (importa y exporta), los que se transforman, los que consume el sector energético para su operación, las pérdidas y los no aprovechados y los que demandan los distintos sectores de uso o consumo final.

En sus inicios, el balance energético se realizaba empleando el método de sustitución parcial, que consiste en sustituir la generación eléctrica primaria por el equivalente de combustible requerido para generar la misma cantidad de electricidad en una central termoeléctrica convencional.

Sin embargo, debido a los altos valores injustificados de pérdidas arrojados en países donde la generación de electricidad primaria constituye la mayor oferta, se optó por el método de contenido energético físico.

Este método asume una eficiencia del 100% para centrales eléctricas que emplean energías primarias, es decir, la cantidad de energía eléctrica producida se supone igual a la cantidad de energía empleada, excepto en energía nuclear y geotérmica⁴.

2.1 Unidad de medición

Ya que los productos energéticos se ponen al alcance de los consumidores en diversas presentaciones y estados de agregación, las unidades con que se distribuyen (máscas o volumétricas) varían de un energético a otro, sin embargo es su contenido energético la característica más importante, por lo que los balances de energía se expresan en unidades de energía, ya sea en equivalentes de petróleo o en Joules.

En México, la unidad obligatoria reconocida como medida de energía es el Joule (J), lo que se establece en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización. El empleo de una sola unidad hace posible la comparación entre los montos de cada fuente de energía consumidos.

Las cantidades pueden ser representadas como múltiplos del Joule (ver tabla 2.1).

Con el fin de realizar la conversión de unidades de masa y volumen a unidades de energía, se emplea el poder calorífico neto (PCN) reportado por el Balance Nacional de Energía 2010 (tabla 2.2).

A diferencia del poder calorífico bruto (PCB), que incluye la cantidad total de calor liberado durante el proceso de combustión, el PCN no toma en cuenta el calor no

recuperable, que en la práctica se considera 5% menor que el PCB excepto para el gas natural que tiene un PCN menor en 10%¹⁹.

Tabla 2.1. Múltiplos del Joule.

Prefijo	Representación científica	Representación decimal
Kilo	10 ³	1,000
Mega	10 ⁶	1,000,000
Giga	10 ⁹	1,000,000,000
Tera	10 ¹²	1,000,000,000,000
Peta	10 ¹⁵	1,000,000,000,000,000

Tabla 2.2 Poder calorífico neto de los energéticos primarios y secundarios.

Poder calorífico neto					
Energéticos Primarios			Energéticos Secundarios		
Carbón térmico nal.	19,405	MJ/ton	Coque de carbón	26,521	MJ/ton
Carbón siderúrgico nal.	23,483	MJ/ton	Coque de petróleo	28,933	MJ/ton
Petróleo crudo	6,391	MJ/bl	Gas LP	4,256	MJ/bl
Condensados	4,968	MJ/bl	Gasolinas y naftas	5,097	MJ/bl
Gas natural	38,228	kJ/m3	Querosenos	5,564	MJ/bl
Leña	14,486	MJ/ton	Diésel	5,681	MJ/bl
Bagazo de caña	7,055	MJ/ton	Combustóleo	6,364	MJ/bl
			Gas seco	33,913	kJ/m3
			Electricidad	3,600	MJ/MWh

Fuente: Balance Nacional de Energía 2010. SENER, 2011.

2.2 Estructura del balance energético

Se ha tomado como referencia los formatos empleados en el Balance Nacional de Energía (BNE) y la Síntesis de la Estrategia de Mitigación y Adaptación del Estado de Puebla ante el Cambio Climático²⁰.

El balance energético se presenta en forma matricial con el objetivo de facilitar su análisis. En dicha matriz las columnas representan las formas de energía cuantificadas, y las filas representan a su vez los procesos por los que atraviesan.

También se presenta el balance energético de manera gráfica mediante un diagrama de Sankey, en el que las flechas indican la presencia de un energético en un proceso dado y el grosor de la flecha representa la cantidad en que es consumido²¹.

2.3 Fuentes de energía

De acuerdo con la IEA, las fuentes de energía pueden clasificarse en primarias o secundarias, entendiéndose las primeras como todas aquellas que se extraen o captan directamente de los recursos naturales, mientras que las secundarias son producidas a partir de los productos primarios⁴.

En la tabla 2.3 se presentan los energéticos considerados en el Balance nacional de energía¹⁹.

Tabla 2.3. Fuentes de energía clasificadas por tipo.
Tomado del Balance nacional de energía 2010 (SENER, 2011)

Primarias	Secundarias
Carbón	Coque de Carbón
Petróleo Crudo	Coque de Petróleo
Condensados	Gas LP
Gas Natural	Gasolinas y naftas
Bagazo de Caña	Querosenos
Energía Nuclear	Diésel
Energía Hidráulica	Combustóleo
Energía Geotérmica	Gas seco
Energía Eólica	Electricidad
Leña	Productos no energéticos

A continuación se muestran las definiciones de los energéticos tomadas del Balance Nacional de Energía edición 2010¹⁹.

2.3.1 Energéticos Primarios

Carbón. Se refiere al carbón mineral, un combustible sólido de color negro o marrón, proveniente de la descomposición de organismos vegetales durante un periodo de tiempo prolongado, contiene principalmente carbono pero también hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre, etc.

Se considera dentro de esta categoría al carbón siderúrgico (para transformación en coque de carbón) y al carbón térmico (destinado a la generación eléctrica).

Petróleo crudo. Es el líquido viscoso de color café oscuro que se extrae de la corteza terrestre, es procesado en refinerías para fraccionarlo. Se excluye de esta categoría a los condensados y líquidos del gas natural recuperados en plantas de extracción de licuables.

Condensados. Compuestos líquidos que se recuperan en instalaciones de separación de los campos productores de gas asociado. Se incluyen líquidos recuperados en gasoductos, los cuales se condensan durante el transporte del gas natural. Se componen básicamente de pentanos y líquidos más pesados.

Gas natural. Es una mezcla de hidrocarburos parafínicos ligeros con metano como su principal constituyente. También contiene pequeñas cantidades de etano y propano, así como proporciones variables de gases no orgánicos, nitrógeno, dióxido de carbono y ácido sulfhídrico.

El gas natural puede encontrarse asociado con el petróleo crudo o independiente en pozos de gas no asociado o gas seco; es enviado a plantas de gas, en donde se obtiene el gas seco, gas licuado, nafta y etano.

Nucleoenergía. Energía contenida en el mineral de uranio después de pasar por un proceso de purificación y enriquecimiento. Se considera energía primaria únicamente al contenido de material fisionable del uranio, el cual se usa como combustible en los reactores nucleares.

Hidroenergía. Esta fuente se define como la energía potencial de un caudal hidráulico.

Geoenergía. Es la energía almacenada bajo la superficie de la tierra en forma de calor y que emerge a la superficie en forma de vapor.

Energía eólica. Energía que se obtiene mediante un conjunto turbina-generador, el cual es accionado por la fuerza del viento.

Energía solar. Es la energía producida por la radiación solar y utilizada para calentamiento de agua y generación de electricidad, a partir de calentadores solares y módulos fotovoltaicos. No se incluye la energía solar pasiva para calefacción e iluminación directas.

Bagazo de caña. Fibra que se obtiene después de extraer el jugo de la caña en los ingenios azucareros y que se utiliza como energético o como materia prima.

Leña. Se considera la energía que se obtiene de los recursos forestales y se utiliza en forma directa en el sector residencial para cocción de alimentos y calefacción.

2.3.2 Energéticos Secundarios

Coque de carbón. Combustible sólido, con alto contenido de carbono, obtenido de la destilación del carbón siderúrgico. Se clasifica de acuerdo con su tamaño en

metalúrgico, nuez y fino; las tres variedades se obtienen en hornos de recuperación. El coque imperial es un producto especial obtenido en hornos de colmena a partir de la mezcla de carbón lavado. Se utiliza en la industria siderúrgica.

Coque de petróleo. Es un combustible sólido y poroso, de color que va del gris al negro, aproximadamente con 92% de carbono y 8% de ceniza, que se obtiene como residuo en la refinación del petróleo.

El coque producido en las refinerías es conocido como coque sin calcinar o coque verde, ya que aún contiene residuos de elementos volátiles. Éste se puede convertir en coque calcinado que posee alta resistencia, alta densidad y baja porosidad. El coque calcinado se obtiene al introducir la materia prima en un horno cilíndrico refractario a 1,300 °C. Las industrias utilizan el coque sin calcinar como energético, mientras que el calcinado se usa más como materia prima.

Gas licuado de petróleo (GLP). Combustible que se obtiene de la destilación del petróleo y del tratamiento de los líquidos del gas natural. Incluye butano, isobutano y propanos. Se utiliza principalmente en los sectores residencial, comercial y transporte.

Gasolinas y naftas. Combustible líquido y liviano, con un rango de ebullición entre 30 y 200 °C, que se obtiene de la destilación del petróleo y del tratamiento del gas natural. Dentro de este rango se consideran las gasolinas de aviación, automotrices, naturales y las naftas.

Gasolina de aviación: mezcla de naftas reformadas de elevado octanaje, poseen alta volatilidad y estabilidad, y un bajo punto de congelamiento. Se usa en aviones con motores de pistón;

Gasolina automotriz: mezcla de naftas relativamente volátiles con especificaciones para su uso en motores de combustión interna de tipo automotriz;

Gasolina natural: producto del procesamiento de gas natural. Sirve como materia prima en la industria petroquímica o se mezcla directamente con las naftas.

Nafta: es un producto del procesamiento del petróleo y del gas natural. Se emplea como materia prima en la industria petroquímica, como solvente en la manufactura de pinturas y barnices, así como limpiador en la industria.

Querosenos. Combustible líquido compuesto por la fracción del petróleo que se destila entre 150 y 300°C. Los querosenos se clasifican en dos grupos:

Turbosina: combustible con un grado especial de refinación que posee un punto de congelación más bajo que el querosén común y se utiliza en el transporte aéreo para motores de turbina.

Otros querosenos: se utilizan para cocción de alimentos, alumbrado, motores, equipos de refrigeración y como solvente para asfaltos e insecticidas de uso doméstico.

Diésel. Combustible líquido que se obtiene de la destilación del petróleo entre los 200 y 380°C. Es un producto de uso automotriz e industrial, que se emplea principalmente en motores de combustión interna tipo diésel.

En este grupo se incluye el Pemex diésel, el diésel desulfurado, el diésel marino y el gasóleo industrial. Este último fue sustituido por el combustible industrial a partir de 1998, y posteriormente dejó de comercializarse en abril del 2001.

Combustóleo. Combustible residual de la refinación del petróleo. Abarca todos los productos pesados y se incluye el residuo de vacío, *Virgin Stock*, residuo de absorción y residuo largo.

Se utiliza principalmente en calderas, plantas de generación eléctrica y motores para navegación. Se divide en combustóleo pesado, ligero e intermedio.

Gas seco. Hidrocarburo gaseoso obtenido como subproducto del gas natural, en refinerías y en plantas de gas después de extraer los licuables. Se compone por metano y pequeñas cantidades de etano. Incluye gas residual y gas seco de refinerías.

El gas seco es utilizado como materia prima en la industria Petroquímica de Pemex, en donde se produce principalmente metanol y amoníaco. Por otro lado, se utiliza como combustible en el sector petrolero, industrial (incluido el petroquímico), residencial, servicios y en centrales eléctricas.

Productos no energéticos. Son productos que se utilizan como materia prima, aun cuando poseen un considerable contenido de energía. Debido a la falta de información sobre estos productos, no son incluidos entre las formas de energía cuantificadas en este estudio.

Electricidad. Es la energía transmitida por electrones en movimiento. Este rubro incluye la energía eléctrica generada por el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) y los permisionarios autorizados por la Comisión Reguladora de energía (CRE)¹⁹.

El SEN es el conjunto de instalaciones destinadas a la generación, transmisión, distribución, transformación y venta de energía eléctrica para el servicio público en toda la república, estén o no interconectadas.

Los permisionarios son generadores de electricidad distintos de CFE e incluyen a:

Productores independientes de energía (PIE). Es la generación de energía eléctrica proveniente de una planta con capacidad mayor que 30 MW, destinada exclusivamente a su venta a la CFE o -previo permiso de la Secretaría de Energía en los términos de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica- a la exportación.

Autoabastecimiento. Es el suministro de los requerimientos de energía eléctrica de los miembros de una sociedad de particulares mediante una central generadora propia. Como modalidad definida por la CRE se entiende como: la generación de energía eléctrica para fines de autoconsumo siempre y cuando dicha energía se destine a satisfacer las necesidades de personas físicas o morales y no resulte inconveniente para el país.

Cogeneración. Es la producción de energía eléctrica en conjunto con vapor y/o energía térmica secundaria de otro tipo. Puede ser la producción directa e indirecta de energía eléctrica a partir de energía térmica residual de procesos que utilizan combustibles, o viceversa.

Importación. Es la adquisición de energía eléctrica proveniente de plantas generadoras establecidas en el extranjero mediante actos jurídicos celebrados directamente entre el abastecedor de la energía eléctrica y el consumidor de la misma.

Exportación. Es la generación de energía eléctrica para destinarse al comercio exterior, a través de proyectos de cogeneración, producción independiente y pequeña producción que cumplan las disposiciones legales y reglamentarias aplicables según los casos.

Los permisionarios en esta modalidad no pueden enajenar dentro del territorio nacional la energía eléctrica generada, salvo que obtengan permiso de la CRE para realizar dicha actividad en la modalidad de que se trate.

Pequeña producción. Es la generación de energía eléctrica destinada a:

La venta a CFE en su totalidad, en cuyo caso los proyectos no podrán tener una capacidad total mayor que 30 MW en un área determinada.

Al autoabastecimiento de pequeñas comunidades rurales o áreas aisladas que carezcan del servicio de energía eléctrica, en cuyo caso los proyectos no podrán exceder de 1 MW.

A la exportación, dentro del límite máximo de 30 MW.

Usos propios continuos. Son permisos de autoabastecimiento y cogeneración, con la diferencia de que éstos fueron emitidos antes de las reformas de 1992, cuando se definieron las modalidades actuales. Estos permisos cuentan con vigencia indefinida²².

2.4 Flujos de energía

La ecuación general que rige el balance energético a cualquier escala se muestra en la ecuación 2.1:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Oferta} \\ \text{interna bruta} \end{array} \right\} = \left\{ \text{Transformación} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Consumo del} \\ \text{sector energético} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Consumo final} \\ \text{total} \end{array} \right\} \pm \left\{ \begin{array}{l} \text{Diferencia} \\ \text{estadística} \end{array} \right\}$$

(Ec. 2.1)

Los primeros términos de la ecuación son los procesos analizados por los que atraviesan los energéticos, desglosados en 13 subprocesos a los que se les ha asignado un valor positivo (+) o negativo (-) correspondiente a un aumento o a una disminución en la disponibilidad energética en la región de estudio²⁰, respectivamente (ver tabla 2.3).

Adicionalmente, dentro del proceso de Transformación se toma en cuenta el subproceso de pérdidas por conversión energética, mismo que no aparece listado como un flujo de energía en el BNE pero sí en las figuras¹⁹.

Los procesos de Importación, Oferta total y Consumo del sector energético empleados en el Balance nacional se han sustituido por los de Entradas, Energía disponible y Total transformación, y se han retirado los procesos de Maquila-intercambio neto, Transferencia interproductos y Recirculaciones.

Tabla 2.4. Procesos y subprocesos de la energía.

Procesos	Oferta interna bruta	Total transformación	Consumo del Sector energético	Consumo final total
	Producción (+)	Coquizadoras (±)	Consumo propio (-)	Consumo final total no energético (-)
Subprocesos	Entradas (+)	Refinerías y despuntadoras (±)	Pérdidas por almacenamiento, distribución y transporte (-)	Consumo final total energético (-)
	Variación de inventarios (±)	Plantas de gas y fraccionadoras (±)		
	Salidas (-)	Centrales eléctricas (±)		
	Energía no aprovechada (-)	Pérdidas por conversión energética (-)		

2.4.1 Oferta interna bruta

Representa la disponibilidad de energía que puede ser destinada a los procesos de transformación, distribución y consumo en la región de estudio durante el periodo de tiempo considerado, y es equivalente al consumo total de energía.

Producción. Se define como la energía extraída de reservas fósiles y fuentes de biocombustibles, así como la captación y aprovechamiento de las energías renovables a partir del agua, viento, luz solar, etc., y que es explotada y producida dentro del territorio de estudio, técnica y económicamente utilizable o comercializable.

Entradas. Es la energía que entra desde fuera de los límites de la región para su consumo dentro de la misma, también se incluyen en esta categoría los energéticos secundarios “producidos” dentro de la región, es decir, aquellos que resultan de un proceso de transformación realizado al interior de la región.

Variación de inventarios. Contabiliza la diferencia entre la existencia inicial (1° de enero) y la existencia final (31 de diciembre) de productos almacenados. Un valor positivo en la variación de inventarios es una desacumulación real en los almacenes, en los buques, en los ductos, en las terminales y/o en cualquier otra modalidad de almacenamiento.

De esta forma, una variación de inventarios positiva aumenta la oferta total de energía. Análogamente, un valor negativo en la variación de inventarios genera una disminución en la oferta total de energía, y por tanto, es equivalente a una acumulación en los mismos.

Salidas. Cantidad de energía que sale de la región de estudio para su transformación o consumo. Se expresan con signo negativo ya que disminuyen la cantidad de energía disponible en la región de estudio.

Energía no aprovechada. Es la energía que, por la disponibilidad técnica y/o económica de su explotación, actualmente no está siendo utilizada. Lo más común a tratarse en este rubro son el gas natural y condensados que se pierden en el proceso de extracción (envío a la atmósfera), el petróleo crudo derramado y el bagazo de caña no utilizado.

2.4.2 Total transformación

Registra la cantidad de energías secundarias y primarias que son destinadas a cualquiera de las siguientes instalaciones para ser procesadas y obtener otros energéticos con características específicas para ser consumidos.

Coquizadoras. Plantas donde se obtiene Coque de carbón como producto de la combustión de carbón mineral y otros materiales carbonosos.

Refinerías y despuntadoras. Plantas de proceso donde se separa el petróleo crudo en sus diferentes componentes: gas de refinerías, gas licuado de petróleo, gasolinas y naftas, querosenos, diésel, combustóleo, productos no energéticos y coque de petróleo.

Plantas de gas y fraccionadoras. Plantas de proceso que separan los componentes del gas natural y de los condensados para obtener gas seco, gasolinas y naftas, butano, propano, etano y productos no energéticos.

Centrales eléctricas. Plantas integradas por un conjunto de unidades de generación, equipos auxiliares, subestaciones y equipos de transmisión de energía eléctrica. Estas centrales se clasifican en cinco tipos, según las fuentes de energía que utilizan para generar electricidad.

Termoeléctricas. Su funcionamiento se basa en la combustión de productos petrolíferos, de gas seco y de carbón para producir vapor de agua, el cual es convertido en energía eléctrica al ser expandido en una turbina.

Nucleoeléctricas. En esencia es una termoeléctrica convencional, en la cual el vapor es producido por el calor generado a partir de la reacción nuclear de fisión, llevada a cabo dentro de un reactor nuclear.

Hidroeléctricas. Su funcionamiento está basado en el principio de turbinas hidráulicas que rotan con el impulso de un flujo de agua, y mueven generadores eléctricos.

Geotermoeléctricas. Planta termoeléctrica convencional sin generador de vapor. La turbina aprovecha el potencial geotérmico almacenado en el subsuelo en forma de vapor de agua.

Eoloeléctricas. Su funcionamiento se basa en el principio de aerogeneradores que se sirven del impulso del aire para generar electricidad.

Pérdidas debido a conversión energética. Es la diferencia entre la cantidad de energía enviada a los centros de transformación y la producción bruta de energía secundaria en los mismos.

2.4.3 Consumo propio del sector energético y pérdidas

Consumo propio. Es la energía primaria y secundaria que el sector energético utiliza para el funcionamiento de sus instalaciones. En el caso del sector eléctrico se incluyen los autoconsumos en generación, transmisión y distribución.

Pérdidas por almacenamiento, distribución y transporte. Son mermas de energía que ocurren durante la serie de actividades que se dan desde la producción hasta el consumo final de la energía. Se excluyen las pérdidas no técnicas (robo) en el caso de la electricidad.

2.4.4 Consumo final

Es la energía y la materia prima que se destinan a los distintos sectores de la economía para su consumo.

Consumo final total no energético. Registra el consumo de energía primaria y secundaria como materia prima. Este consumo se da en los procesos que emplean materias primas para la elaboración de bienes no energéticos, por ejemplo: Pemex Petroquímica utiliza gas seco y derivados del petróleo para elaborar plásticos, solventes, polímeros, caucho, entre otros.

Consumo final total energético. Se refiere a los combustibles primarios y secundarios utilizados para satisfacer las necesidades de energía de los sectores Residencial, comercial y público, Transporte, Agropecuario e Industrial. Éste último se integra a su vez por las siguientes ramas: Siderurgia, Cemento, Azúcar, PEMEX Petroquímica, Química, Minería, Celulosa y papel, Vidrio, Cerveza y malta, Construcción, Aguas envasadas, Automotriz, Hule, Aluminio, Fertilizantes, Tabaco y Otras ramas.

2.4.5 Diferencia estadística

Es una variable de ajuste que sirve para compensar las diferencias entre la oferta y la demanda de energía producidas por la conversión de unidades, la diferencia de mediciones en las instalaciones del sector y la información relativa a otras cuentas no detalladas anteriormente.

Cuando es igual a cero (un “balance cerrado”), indica que todos los datos están en concordancia pero si su valor es reportado como no disponible (n.d.) se debe a que no es posible encontrar fuentes de información de todos los procesos.

La IEA sugiere que una diferencia estadística igual a cero se tome con desconfianza, ya que los datos pueden haber sido manipulados para equilibrar el balance⁴.

La relación entre los flujos de energía mencionados arriba se muestra en la figura 2.1.

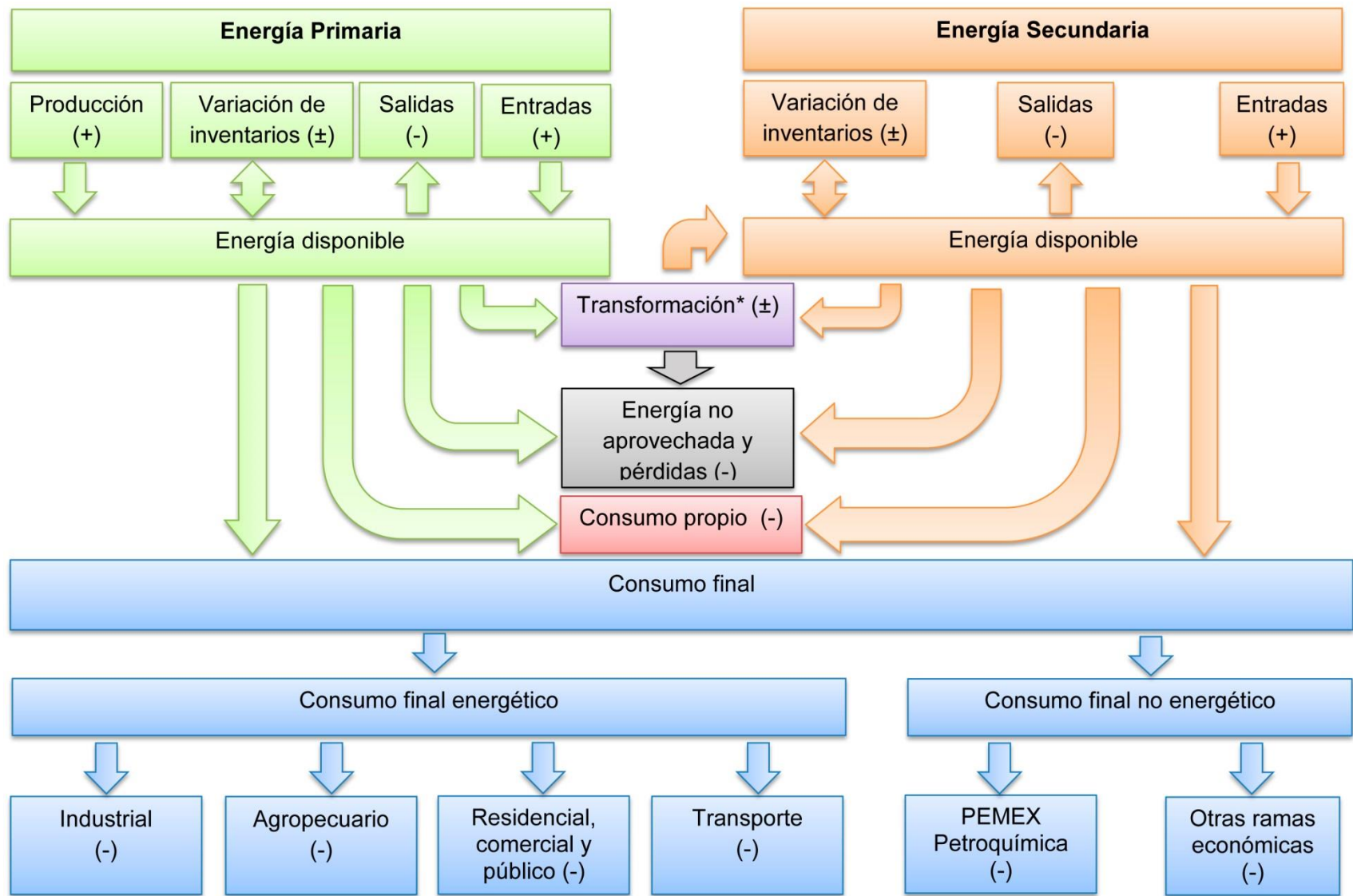


Figura 2.1. Flujos de energía. La energía primaria es representada en color verde, la secundaria en color naranja.
 Elaboración propia. *Incluye centrales eléctricas, coquizadoras, refinerías y despuntadoras, plantas de gas y fraccionadoras.

3. Huella de carbono

3.1 Repercusiones del consumo energético

El creciente consumo de combustibles ha sido relacionado con efectos adversos en la salud humana y en el medio ambiente en general, ya que las emisiones producidas por la combustión degradan la calidad del aire y tienen un papel fundamental en el efecto invernadero que ocasiona el fenómeno del cambio climático, catalogado como el gran reto a vencer para la humanidad en el siglo XXI²³.

El efecto invernadero tiene lugar en la atmósfera cuando los gases del efecto invernadero (GEI) reintegran a ésta una porción de la radiación solar reflejada por la superficie terrestre hacia el espacio, calentando así la atmósfera terrestre. La presencia de los GEI en la atmósfera es natural, sin estos gases la temperatura media del planeta sería de -18°C ²⁴.

Debido a la evidencia del cambio climático, fenómeno observado por diversos investigadores alrededor del mundo, se formó el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) en 1988, cuyo objetivo es evaluar la información científica relevante al cambio climático inducido por el hombre, el impacto del cambio climático inducido por el hombre y las opciones de adaptación y mitigación²⁵.

De acuerdo con el IPCC, en los últimos 30 años las emisiones mundiales de GEI se han incrementado en un promedio anual de 1.6%, con las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) provenientes de combustibles fósiles creciendo a un ritmo de 1.9% anual²⁶.

Según el *Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático*, la concentración de CO_2 se ha incrementado por encima de los 390 ppm a finales de 2010, esto es, un 39% por encima de los niveles preindustriales²⁷, y la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés) ha informado que a mediados de 2012 se superó el límite de las 400 ppm de CO_2 en la atmósfera en algunas regiones al norte del planeta²⁸.

La IEA señala que en el año 2012 se tuvo el máximo histórico de 31.6 gigatoneladas de emisiones mundiales de GEI debido al consumo energético, 1.4% mayor que en 2011. También menciona que el sector energético mundial aporta más de dos terceras partes de las emisiones de GEI mundiales, y cerca del 80% de la generación eléctrica mundial se basa en el consumo de combustibles fósiles.

El mismo reporte hace hincapié en que las emisiones de GEI a la atmósfera no sólo no han disminuido, sino que han seguido una tendencia al alza a pesar de las medidas implementadas en diversos países²⁹.

De acuerdo con los reportes del IPCC, la concentración de GEI se ha elevado hasta provocar una interferencia peligrosa con el sistema climático, lo que ha provocado un aumento en la temperatura media global del planeta en primer lugar (calentamiento global), derritiendo los grandes glaciares e incrementando así el nivel del mar³⁰, se tienen cambios en la variabilidad climática (El Niño), una alta probabilidad de que el calentamiento provocará un aumento en el riesgo de muchos eventos extremos, incluyendo inundaciones, sequías, olas de calor e incendios, con crecientes niveles de efectos adversos; el riesgo de que un aumento de 1-2 °C en el calentamiento global (frente a la temperatura en la actualidad) daría lugar a un gran aumento del nivel del mar debido a por lo menos el deshielo parcial de ambas capas de hielo[...], un gran aumento en la intensidad de los ciclones tropicales con niveles crecientes de impactos adversos mientras la temperatura aumenta, el riesgo de que la retroalimentación positiva de calentamiento pueden causar la liberación de CO₂ o CH₄ de la biosfera y el suelo terrestre²⁶.

A raíz del incremento de estos efectos, el IPCC ha centrado sus esfuerzos en crear conciencia en los gobiernos de todos los países con el fin de mitigar las emisiones que lo causan y buscar la adaptación a los cambios que provoca en las variables atmosféricas.

Fue así que, durante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, se estableció como objetivo alcanzar la estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que evite la interferencia antropogénica peligrosa con el sistema climático.

3.2 Protocolo de Kyoto

Derivado de la convención arriba mencionada, se firmó el Protocolo de Kyoto que busca la reducción de emisiones a la atmósfera de GEI antropogénicos en al menos un 5% con respecto al año base de 1990 por parte de los países considerados como principales emisores.

Entre los GEI considerados en el Protocolo de Kyoto están el CO₂, CH₄, N₂O, los hidrofluorocarbonos (HFC's), perfluorocarbonos (PFC's) y hexafluoruro de azufre (SF₆)³¹. De éstos, el CO₂, el CH₄ y el N₂O constituyen el 76, 16 y 6% del total mundial de GEI emitidos a la atmósfera, respectivamente, pero esta distribución puede variar⁸⁷.

3.3 Gases de efecto invernadero (GEI)

A continuación se describen brevemente los GEI más importantes y su origen:

CO₂: Es un gas sin color ni olor, tiene su origen antropogénico en la combustión de energéticos de origen fósil, cuyo consumo se ha

incrementado desde la revolución industrial. Naturalmente se produce en los incendios forestales y emisiones volcánicas, así como en el proceso de respiración aerobia.

CH₄: Es un gas sin color ni olor, principal constituyente del gas natural, se emite a la atmósfera de manera natural como producto de la descomposición entérica de ganado. Su origen antropogénico está en el proceso de extracción de gas natural, como producto de la descomposición de residuos sólidos en los rellenos sanitarios y durante la combustión de energéticos fósiles, puede alcanzar una vida de 12 años en la atmósfera.

N₂O: Gas incoloro producido naturalmente durante los procesos de nitrificación-desnitrificación, su origen antropogénico está en la combustión de energéticos fósiles, así como en la agricultura debido al empleo de fertilizantes sintéticos y abonos. Puede alcanzar una vida de 114 años en la atmósfera.

3.4 Huella de carbono

Para medir el impacto que las actividades antropogénicas tienen en el medio ambiente, William Rees y Mathis Wackernagel crearon la huella ecológica en 1992.

Esta herramienta estima la extensión de superficie productiva que requiere una sociedad para satisfacer sus necesidades y asimilar sus residuos y emisiones, incluye la superficie requerida para cultivar los alimentos vegetales, criar ganado, superficie marina para pesca, asentamientos humanos y superficie forestal para asimilar las emisiones de CO₂³².

Posteriormente, Dómenech propuso en 2000 la huella de carbono aplicada a empresas y organizaciones, que expresa el impacto en el medio ambiente en emisiones de CO₂ equivalentes³³.

La UK Carbon Trust define la huella de carbono como la totalidad de GEI emitidos a la atmósfera³⁴. Para su estimación, se han planteado diversos enfoques, siendo el enfoque GEI y el análisis de ciclo de vida (ACV) los más importantes.

El análisis de ciclo de vida estima las emisiones de GEI de un producto a lo largo de su vida útil, es intensivo en tiempo y dinero, y reunir la información puede resultar problemático, por lo que la EPA recomienda su aplicación solamente a empresas que puedan permitírselo y estén dispuestas a proveer la información necesaria a quienes realizan el estudio³⁵.

El enfoque GEI determina las emisiones debidas al desarrollo de una actividad, emplea el método recomendado por el IPCC en sus lineamientos publicados en

2006 e incluye a otros GEI además del CO₂ y los expresa como equivalentes del mismo (CO₂eq)²⁵.

3.4.1 Categorías de emisión

El IPCC ha identificado seis categorías en los inventarios de emisiones que merecen especial atención: Energía, Procesos industriales, Solventes, Uso de Suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura, Agricultura y Desechos.

De éstos, el sector energético en México fue el principal emisor durante 2010 con el 67.3% del total, y durante el periodo comprendido entre 1990 y 2010 sus emisiones se incrementaron en un 1.5% anual en promedio³⁷.

Lo anterior resalta la importancia de migrar hacia el aprovechamiento de fuentes de energía no fósiles, pues contribuiría grandemente a la reducción de las emisiones de GEI a la atmósfera.

3.4.2 Niveles de estimación

El alcance en las estimaciones de la huella de carbono puede ser de tres *tiers* o niveles, según lo indica el IPCC:

Tier 1: Requiere la cantidad de combustible empleado y el factor de emisión por defecto. Este nivel es el más básico y constituye una aproximación a escala de las emisiones.

Tier 2: Requiere datos sobre la cantidad de combustible empleado y un factor de emisión específico para cada país, esta estimación se aproxima a la escala de las emisiones y responde a cambios locales.

Tier 3: Requiere los montos de combustible empleado, un factor de emisión específico para cada combustible y país, la tecnología de combustión, condiciones de operación, tecnología de control, calidad del mantenimiento y edad del equipo empleado para la combustión. Es el más complejo y el que mejor responde a cambios regionales.

Como recomendación adicional, una estimación de los GEI puede ser también una mezcla de los tres niveles dependiendo de la información disponible²⁵.

Algunas emisiones pueden o no incluirse debido a que se realizan fuera del territorio de estudio (emisiones indirectas), como es el caso de grandes ciudades cuya electricidad se genera en un territorio vecino, por ello los balances energéticos estatales deben reportar los energéticos consumidos para la generación eléctrica pero también el consumo final de electricidad.

En estos casos, las emisiones pueden reportarse como resultado del consumo final en lugar de las emisiones derivadas de la generación eléctrica¹⁸.

3.4.3 Estructura

En este estudio se contempla únicamente huella de carbono debida a la categoría de Energía en la región Puebla-Tlaxcala durante el año 2010.

Los energéticos tomados en cuenta se agrupan en fósiles (aquellos derivados del petróleo), biogénicos (los que tienen su origen en los procesos biológicos) y electricidad, como se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Clasificación de los energéticos para el cálculo de la huella de carbono.

Energéticos		
Fósiles	Biogénicos	Electricidad
Carbón	Leña	Electricidad
Coque de carbón		
Coque de petróleo		
Gas LP		
Gasolinas y naftas		
Querosenos	Bagazo de caña	
Diésel		
Combustóleo		
Gas seco		

3.4.4 Método de cálculo

Como se mencionó anteriormente, el IPCC realiza las estimaciones de emisiones de GEI mediante el uso de datos de actividad y factores de emisión.

3.4.4.1 Datos de actividad

En el caso de los energéticos, los datos de actividad se refieren al consumo de los mismos³⁶. Es importante mencionar que no todo el consumo final de un energético se considera para este cálculo, sino sólo la cantidad empleada con fines energéticos, excluyendo así el consumo no energético en PPQ y en Otras ramas industriales para la síntesis de bienes no energéticos.

3.4.4.2 Factores de emisión

Los factores de emisión (FE) son relaciones entre la cantidad de un contaminante emitido y una sola unidad de actividad³⁶.

México no cuenta a la fecha con factores de emisión propios para la mayoría de los sectores, sin embargo la estimación de estos ya se ha enunciado como una tarea pendiente³⁷. Sólo el factor de emisión debido al consumo final de electricidad es estimado cada año por parte del Programa GEI México³⁸.

Por lo que anterior, sólo se pueden realizar estimaciones de nivel 1 con los FE proporcionados por el IPCC en las *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*²⁵.

Dichos factores son reportados para el consumo final de cada energético en los sectores Residencial, comercial y público, Transporte, Industrial y Agropecuario; y consideran los principales GEI: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O).

Tabla 3.2 Factores de emisión para CO₂. IPCC, 2006.

Factores de emisión para CO ₂ (ton/PJ)					
Energéticos	Sector final de consumo				
	Residencial, comercial y público	Industrial	Transporte	Agropecuario	
Fósiles	Carbón	98300	98300	98300	98300
	C. Carbón	94600	94600	94600	94600
	C. Petróleo	97500	97500	97500	97500
	Gas LP	63100	63100	63100	63100
	Gasolinas y Naftas	69300	69300	69300	69300
	Querosenos	71500	71500	71500	71500
	Diésel	74100	74100	74100	74100
	Combustóleo	77400	77400	77400	77400
	Gas seco	64200	64200	64200	64200
Biogénicos	Bagazo de caña	100000	100000	100000	100000
	Leña	112000	112000	NA	112000
Electricidad*		137389	137389	137389	137389

Tabla 3.3 Factores de emisión para CH₄. IPCC, 2006.

Factores de emisión para CH ₄ (ton/PJ)					
Energéticos		Sector final de consumo			
		Residencial, comercial y público	Industrial	Transporte	Agropecuario
Fósiles	Carbón	155	10	10	300
	C. Carbón	155	10	10	300
	C. Petróleo	10	3	10	10
	Gas LP	5	1	5	5
	Gasolinas y Naftas	10	3	10	10
	Querosenos	10	3	10	10
	Diésel	10	3	10	10
	Combustóleo	10	3	10	10
	Gas seco	10	3	10	10
Biogénicos	Bagazo de caña	300	30	300	300
	Leña	300	30	300	300
Electricidad*		0	0	0	0

Tabla 3.4 Factores de emisión para N₂O. IPCC, 2006.

Factores de emisión para N ₂ O (ton/PJ)					
Energéticos		Sector final de consumo			
		Residencial, comercial y público	Industrial	Transporte	Agropecuario
Fósiles	Carbón	1.5	1.5	1.5	1.5
	C. Carbón	0.6	0.6	0.6	0.6
	C. Petróleo	0.6	0.6	0.6	0.6
	Gas LP	0.1	0.1	0.1	0.1
	Gasolinas y Naftas	0.6	0.6	0.6	0.6
	Querosenos	0.6	0.6	0.6	0.6
	Diésel	0.6	0.6	0.6	0.6
	Combustóleo	0.6	0.6	0.6	0.6
	Gas seco	0.6	0.6	0.6	0.6
Biogénicos	Bagazo de caña	4	4	4	4
	Leña	4	4	4	4
Electricidad*		0	0	0	0

Fuente: IPCC, 2006.

*Electricidad se tomó del Programa GEI México y se reporta en equivalentes de CO₂.

3.4.4.3 Potencial de Calentamiento Global

Ya que existe más de un GEI y cada uno tiene un impacto diferente en la temperatura de la atmósfera, se toma como referente al CO₂ y se le relaciona con el resto de los GEI mediante su Potencial de Calentamiento Global (GWP, por sus siglas en inglés) como se muestra en la tabla 3.2.

El GWP se define como el potencial que tiene la sustancia en cuestión para promover el calentamiento global en un horizonte de 100 años con respecto al CO₂²⁵. Por ejemplo, el CH₄ tiene un potencial de calentamiento 25 veces superior al del CO₂, así una tonelada de CH₄ emitida a la atmósfera es equivalente a 25 toneladas de emisiones de CO₂ (ton de CO₂eq).

El GWP permite la estandarización de las emisiones en toneladas de dióxido de carbono equivalente (tonCO₂eq), lo que posibilita la comparación de las emisiones de los distintos sectores.

Tabla 3.2. Potencial de calentamiento global con respecto al CO₂ de los GEI considerados.
Fuente: www.climatechangeconnection.org

Gas de Efecto Invernadero	Potencial de calentamiento global
CO ₂	1
CH ₄	25
N ₂ O	298

3.4.4.4 Estimación de las emisiones de GEI debido al consumo final de electricidad

El cálculo de la huella de carbono derivada del consumo de electricidad requiere tomar en cuenta que el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) está interconectado (ver figura 3.1), es decir, que la electricidad consumida dentro de un estado puede ser generada en otro.



Figura 3.1. SEN: Capacidad de transmisión entre regiones 2010 (MW)
Fuente: Tomado de la Perspectiva del sector eléctrico 2010-2025, CFE.

Esto se puede observar en el estado de Tlaxcala, que no cuenta con centrales eléctricas públicas²², por lo que debe importar electricidad de otros estados para satisfacer su demanda.

Es necesario notar que hay diferencia entre la electricidad generada al interior de la región de estudio y la importada, así como entre aquella que es generada mediante la quema de combustibles y la generada a partir de energía renovables. Para ésta última el Proyecto GEI México considera que no hay emisiones.

4. Potenciales de energías no convencionales

4.1 Definición de energías renovables no convencionales (ERNC)

Según la edición 2010 del Balance Nacional de Energía emitido por SENER, las energías renovables son aquellas que están disponibles a partir de procesos naturales y permanentes con las posibilidades técnicas de ser explotados económicamente¹⁹.

Entre ellas se han destacado las energías renovables *no convencionales* (ERNC), que se caracterizan por utilizar energías renovables para la generación de electricidad, contribuir a diversificar las fuentes de abastecimiento de energía en los sistemas eléctricos y causar un bajo impacto ambiental, e incluyen (pero no se limitan) a las siguientes fuentes de energía primaria³⁹:

1. La energía de la biomasa, correspondiente a la obtenida de materia orgánica y biodegradable, la que puede ser usada directamente como combustible o convertida en otros biocombustibles líquidos, sólidos o gaseosos. Se entenderá incluida la fracción biodegradable de los residuos sólidos domiciliarios y no domiciliarios.
2. La energía hidráulica cuya potencia máxima sea inferior a 20,000 kW (en México se considera como pequeña hidráulica a las instalaciones con capacidad de hasta 30,000 kW⁴⁰).
3. La energía geotérmica, entendiéndose por tal la que se obtiene del calor natural del interior de la tierra.
4. La energía solar, obtenida de la radiación solar.
5. La energía eólica, correspondiente a la energía cinética del viento.
6. La energía de los mares, correspondiente a toda forma de energía mecánica producida por el movimiento de las mareas, de las olas y de las corrientes, así como la obtenida del gradiente térmico de los mares.

4.2 Estado actual de las ERNC en México

Las ERNC tienen una presencia importante en México, a continuación se hace una breve descripción de su estado a nivel nacional.

4.2.1 Energía eólica

La energía eólica se aprovecha para la generación eléctrica mediante aerogeneradores de eje vertical u horizontal, siendo los últimos los más empleados.

Constan de generadores eléctricos montados en postes de hasta más de 110 metros de altura como se aprecia en la figura 4.1, éstos pueden ser instalados en tierra (*onshore*) o en el mar (*offshore*) y cuentan con hélices que son impulsadas por el viento, para luego comunicar esta energía cinética a un sistema de engranajes y posteriormente al eje del generador eléctrico.

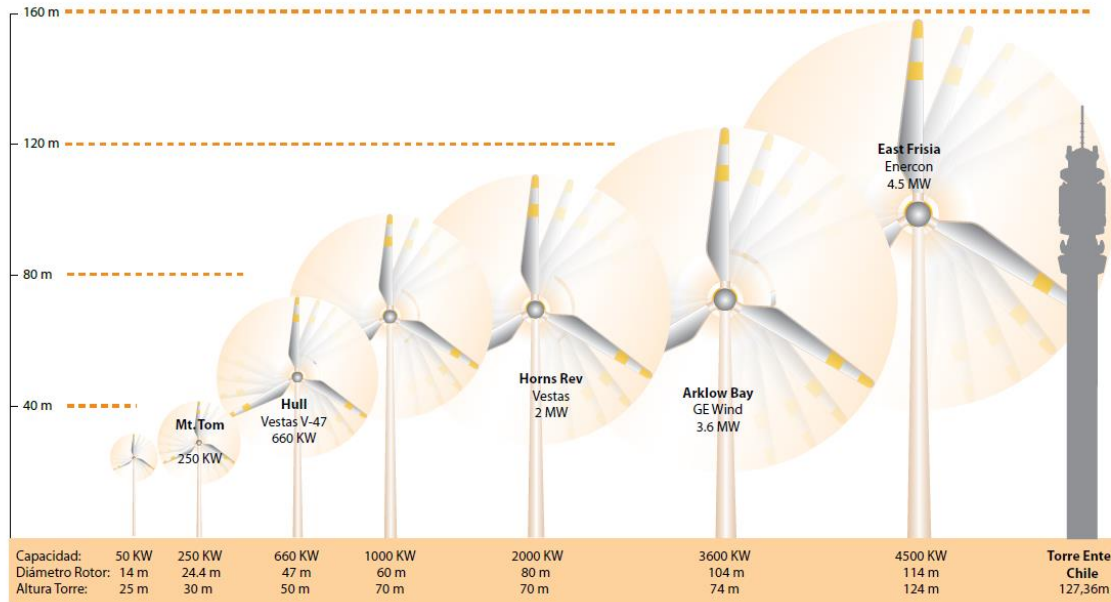


Figura 4.1. Capacidad, diámetro del rotor y altura de la torre de algunos aerogeneradores en 2004. Tomado de Introducción a las Energías Renovables No Convencionales (ENRC), 2006.

Los inconvenientes que deben considerarse en estas instalaciones son la erosión provocada por la acción de las hélices y la apertura de caminos, sus efectos negativos debido al ruido y la afectación a las aves, principalmente si se instalan en el trayecto de las rutas de migración⁷.

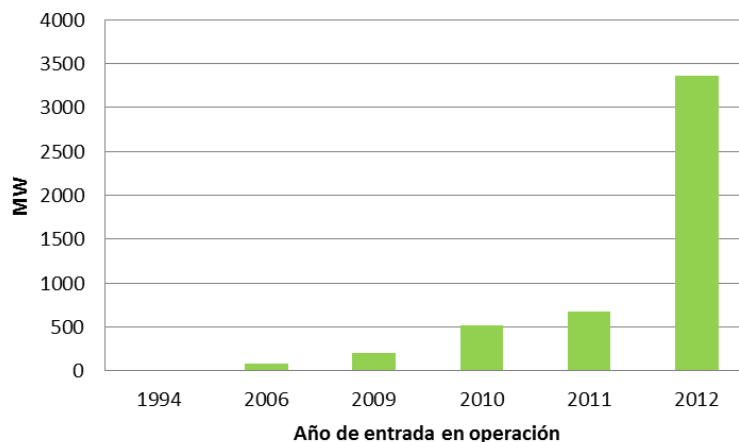


Figura 4.2. Evolución de la capacidad instalada de generación eólica en México, 1994-2012. Fuente: Elaboración propia con datos de The Wind Power.

A nivel nacional, la energía eólica ha sido la ERNC con mayor crecimiento en términos de capacidad instalada en la cartera energética nacional debido a su incorporación a la canasta de generación eléctrica de CFE (ver figura 4.2), teniendo una gran participación por parte de los Productores Independientes de Energía (PIE)²².

Cabe mencionar que de los 19 parques eólicos existentes en el país, tan solo de 2011 a 2012 fueron puestos en marcha 11 de ellos, 10 en el Estado de Oaxaca (ver figura 4.3) y uno más en Chiapas, alcanzando así 3,354.134 MW de capacidad instalada⁴¹.

Además, la Comisión Reguladora de Energía (CRE) ha otorgado permisos a 17 plantas más que se encuentran en construcción o en inicios de obras en los estados de Baja California, Nuevo León, Oaxaca, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz⁴².



Figura 4.3. Granja eólica en el estado de Oaxaca.

4.2.2 Energía solar

El aprovechamiento de la energía solar puede realizarse de manera pasiva si se hace uso directo de ella sin necesidad de elementos técnicos (calentamiento de viviendas, evaporación de aguas en las salinas, secado de adobe, etc.), o de manera activa si se emplean procedimientos técnicos para captarla, almacenarla y transmitirla a otros usos derivados como sistemas fototérmicos o fotovoltaicos con o sin concentración⁷.

A continuación se describen brevemente las características de los aprovechamientos fototérmicos y fotovoltaicos.

4.2.2.1 Solar Fototérmica

Los sistemas fototérmicos aprovechan la energía solar para el calentamiento de un fluido, denominado fluido de transporte térmico. La energía así captada puede emplearse para fines como el calentamiento de agua en el sector residencial o la generación eléctrica a gran escala.

En algunas instalaciones domésticas y comerciales, el sistema fototérmico consta de un panel o tubos por donde se hace circular un fluido (como etilenglicol o agua) que después es conducido hasta un intercambiador de calor donde transfiere su energía térmica a agua destinada al consumo en regaderas y grifos, pueden o no contar con un tanque de almacenamiento con aislamiento térmico para suplir sus necesidades de agua caliente por la noche⁷.

El empleo de fluidos como el etilenglicol se debe, en algunos casos, al alto contenido de sales en el agua de la zona, lo que puede producir depósitos en los capilares del panel y causar su obstrucción y derivar en la pérdida total del panel. Estos fluidos son reemplazados periódicamente debido a pérdidas en el sistema⁴³.

En el sector doméstico mexicano, los calentadores solares se han vuelto muy populares debido a su costo y su eficiencia de alrededor del 50%¹⁹, lo que les ha permitido penetrar ampliamente en el mercado.

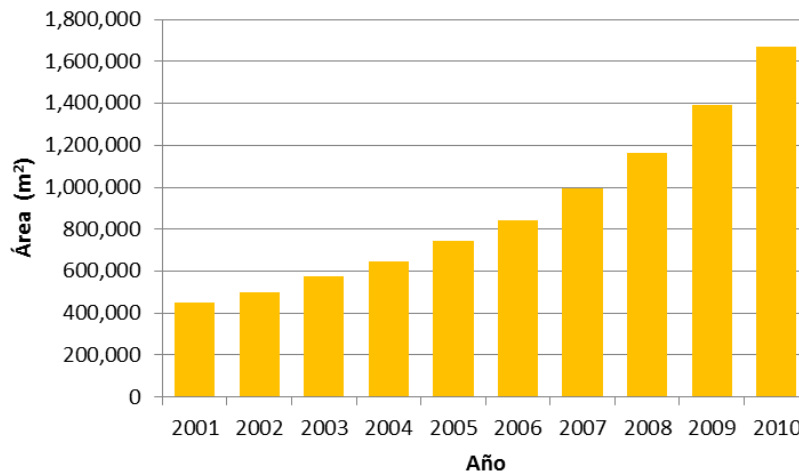


Figura 4.4. Área instalada de calentadores solares en México, 2001-2010.

Fuente: Elaboración propia con datos de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES).

Es importante resaltar que programas como Procalsol de CONUUE, GIZ y ANES⁴⁴ o Hipotecas verdes de INFONAVIT⁴⁵, impulsaron la instalación de estos equipos, que mantuvieron un crecimiento continuo de 2006 a 2010 en su infraestructura hasta llegar a los 1,665,502 m² de capacidad instalada, de los cuales se instalaron 272,580 (16.36%) en ese mismo año⁴⁶ como se aprecia en la figura 4.4, sin embargo su participación porcentual es aún muy baja en la cartera energética nacional.

4.2.2.2 Solar fotovoltaica

Los sistemas fotovoltaicos (SFV) aprovechan la energía solar para generar electricidad mediante el efecto fotovoltaico. Un panel fotovoltaico está formado por un arreglo de celdas fotovoltaicas, cubiertas por encapsulante y cristal templado, y enmarcadas en aluminio. Las celdas están constituidas por dos capas, una con abundancia de electrones (capa *n*) y otra con escasez de éstos (capa *p*).

La capa *n* contiene un contaminante rico en electrones como fósforo, la capa *p* también ha sido dopada pero con un contaminante con escasez de electrones, como el boro. Así se forma la unión *p-n* que provoca una diferencia de potencial, lo que hace que los electrones tengan menos potencial en la zona *n* que en la zona *p*, de manera que un campo eléctrico dirigido desde la zona *n* hacia la *p* envía los electrones hacia la zona *n* y los huecos que dejan hacia la zona *p*, produciendo así un flujo de electricidad.

Existen distintos tipos de celdas fotovoltaicas:

***Celdas de Silicio**

Están fabricados a partir de silicio, los hay de tres tipos: monocristalinos, policristalinos y amorfos o de capa delgada (thin film), decreciendo su eficiencia y costo en ese orden. Este tipo de celdas dominan actualmente el mercado mundial de paneles solares a nivel mundial.

***Arseniuro de galio**

Teóricamente tiene mejores características que el silicio pero su costo es mayor y su tecnología está poco avanzada.

***Sulfuro de cobre y sulfuro de cadmio**

Aunque su rendimiento es bajo, pueden representar una alternativa de bajo costo para el futuro.

***Celdas bifaciales**

Son celdas activas por ambas caras, tienen un rendimiento superior a las celdas de arseniuro de galio pero presentan un alto costo y una instalación compleja⁴⁷.

También se encuentran en desarrollo celdas fotovoltaicas creadas a partir de materiales orgánicos como lo son las celdas solares de películas sólidas de estructura amorfa, también llamadas celdas OPV's (*Organic Photovoltaics*), y las de estructura semi-líquida e híbrida (orgánica-inorgánica), que contienen un electrolito líquido y colorantes sensibilizadores, conocidas como DSSC (*Dye Sensitized Solar Cells*)⁴⁸.

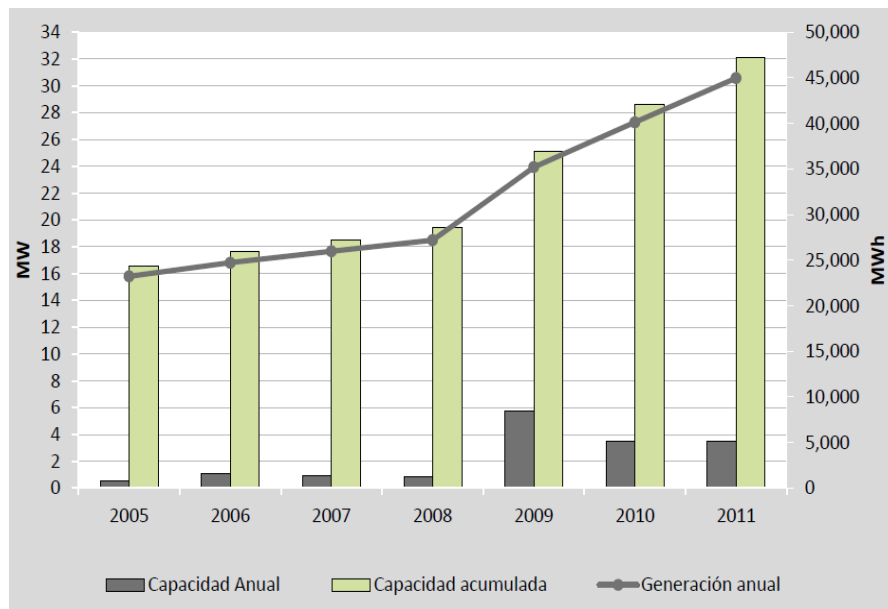


Figura 4.5. Evolución de la capacidad instalada y generación de electricidad con sistemas FV en México, 2005-2011. Fuente: Tomado de Programa de fomento de sistemas fotovoltaicos en México (Prosolar). CRE, 2012.

La energía solar fotovoltaica ha crecido de manera continua durante el periodo comprendido entre 2001 y 2011 (figura 4.5), debido al incremento en la eficiencia de los equipos y la reducción de los costos, ambas consecuencias de mejoras en los procesos de fabricación y esfuerzos en las áreas de investigación y desarrollo, hay excelentes razones para pensar que ésta tendencia continuará en los años siguientes⁴⁹.

Un logro muy importante para la adopción de sistemas fotovoltaicos fue la publicación en 2010 del *Contrato de Interconexión para Fuente de Energía Renovable o Sistema de Cogeneración en Pequeña y Mediana Escala*, que fomentó la interconexión de sistemas fotovoltaicos en modalidad de pequeña escala (sistemas de hasta 30 kW conectados a la red de CFE con tensión inferior a 1 kV) y mediana escala (sistemas de hasta 500kW conectados a la red de CFE con tensión inferior a 69 kV)⁵⁰.

Actualmente se trabaja en la incorporación de la energía solar a la generación eléctrica del sector público mediante la construcción de una central termosolar de alta concentración que consta de un sistema híbrido de ciclo combinado con potencia de 477 MW y un campo termosolar de canales parabólicos con una potencia de 14 MW en el estado de Sonora⁵¹, así como una central fotovoltaica en el estado de Durango que constará de 60 mil paneles⁵².

Según datos de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), en 2011 el 3.2% de las viviendas en el estado de Puebla contaba con un calentador solar y se habían vendido más de 2884 celdas fotovoltaicas en el mismo⁵³.

Algunos autores consideran que en buenas condiciones el recurso solar tiene valores de alrededor de 1000 W/m^2 ⁷, mientras que en el municipio de Puebla alcanza los 999 W/m^2 en un plano horizontal y excede los 1060 W/m^2 en un plano inclinado a 35° en un día despejado⁵⁴, como se aprecia en la figura 4.6.

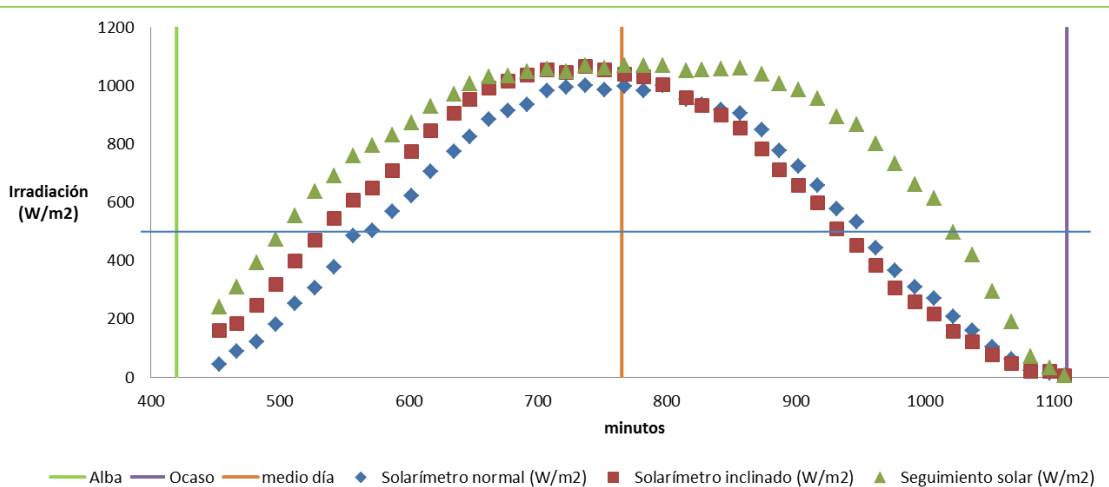


Figura 4.6. Perfil diario de irradiación solar (W/m^2) para un día soleado de febrero.

4.2.3 Energía geotérmica

La energía eléctrica proveniente de una central geotérmica se obtiene mediante el movimiento de turbinas con vapor como en cualquier central termoeléctrica convencional, con la salvedad del origen del vapor que en el primer caso se genera mediante la quema de combustibles fósiles en calderas y en el segundo mediante la abertura de pozos de donde proviene la energía térmica para generar el vapor.

El aprovechamiento puede ser en plantas de vapor seco, flash o de ciclo de binario:

Plantas de vapor seco. En estas plantas el vapor extraído es vapor seco o de saturación que se dirige directamente a la turbina para la generación de electricidad.

Plantas flash. Es el ciclo recomendado para sitios con alta temperatura (>150°C), el vapor obtenido del pozo geotérmico es una mezcla líquido-vapor a una presión que depende del pozo. El vapor obtenido es enviado a separadores vapor/agua cuyo resultante se envía a turbinas y el líquido se rechaza.

Plantas de ciclo binario. Es el ciclo de los sitios con temperatura media (entre 100°C y 150°C), en él se tienen dos circuitos por el que circulan el agua del pozo y el fluido que impulsa las turbinas, ambos están en contacto mediante un intercambiador de calor. También se adopta esta modalidad si el fluido geotérmico tiene una elevada salinidad⁵⁵.

En el campo de la geotermia, México figura como uno de los cinco grandes productores de energía geotérmica (después de Estados Unidos, Filipinas e Indonesia), con 1 GW de capacidad instalada en 2012⁵⁶. De éstos, 40 MW están en el estado de Puebla en la central geotermoeléctrica “Los Humeros” en el municipio de Chignautla⁴².

4.2.4 Energía hidráulica

Las centrales hidroeléctricas convencionales tienen impactos considerables en el entorno debido a la magnitud de la obra civil y la inundación necesaria de grandes áreas para conseguir el salto requerido y embalsar el agua. Por el contrario, los aprovechamientos más pequeños pueden integrarse fácilmente a un ecosistema sensible.

Es posible aprovechar embalses construidos para otros usos (regulación del caudal, prevención de avenidas, riego, alimentación de agua potable), disminuyendo aún más su impacto en el medio ambiente y la inversión requerida (ver figura 4.7).

Algunas instalaciones cuentan con un pequeño embalse construido con geotextiles (PEAD por ejemplo) que asegura el suministro de agua para turbinar sólo en las horas punta, cuando el precio de la energía es más alto.

El amplio abanico de turbinas empleadas para estos fines permite adaptarse a las distintas combinaciones de saltos y caudales⁵⁷.

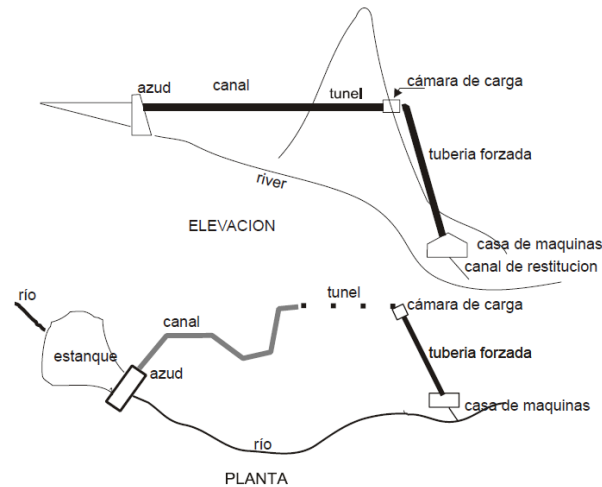


Figura 4.7. Esquema de un aprovechamiento hidráulico de montaña.

Tomado de la Guía para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica. ESHA, 2006.

Con respecto a la micro, mini y pequeña hidráulica, para finales de 2011 México contaba con una capacidad instalada de 286.6 MW, de los que 8.36 MW están en el estado de Puebla en 8 centrales hidroeléctricas públicas en operación, es decir, 2.92% del total a nivel nacional⁵¹.

En un estudio realizado por CONAE a finales de 1994, se estimó el potencial de instalaciones sin embalse con una caída de agua de 100 m disponible en una región que comprende una porción de los estados de Puebla y Veracruz.

Se reportó un potencial de 262.21 MW de capacidad instalada de mini y micro hidráulica en 62 sitios, sin embargo éstos sólo se presentan en el estado de Veracruz⁵⁸.

4.3 Estimación de los potenciales solar y eólico

Las estaciones de monitoreo se emplean para la estimación de variables climáticas (como lo son también la irradiación solar y la velocidad del viento), pero dada su cobertura limitada, se recurre también a técnicas de interpolación para la obtención de datos, como los polígonos de Thiessen para la estimación de la precipitación en cuencas hidrológicas⁵⁷ (figura 4.8).

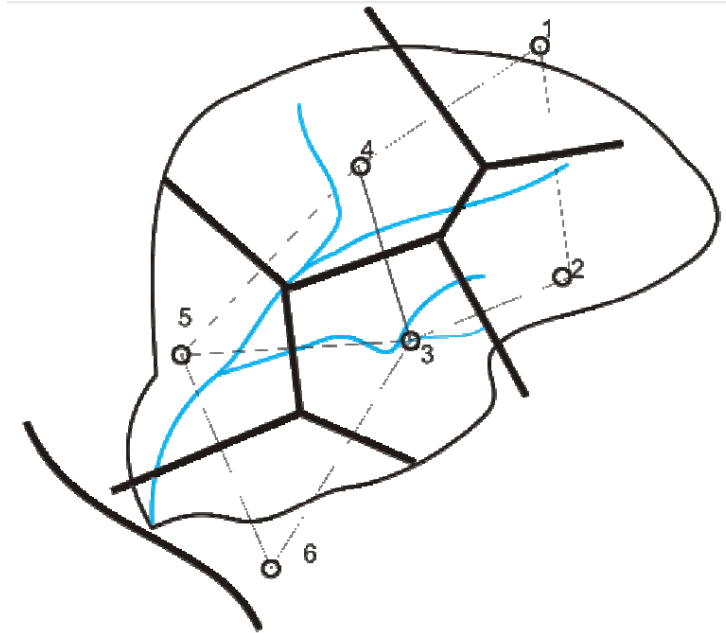


Figura 4.8. Polígonos de Thiessen.

Tomado de Guía para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica (ESHA, 2006)

Una alternativa a estas interpolaciones son los Sistemas de Información Georreferenciada (*GIS* por sus siglas en inglés) en combinación con técnicas de interpolación y datos de la zona^{59,60,61}.

El término GIS se usó por primera vez en 1965, y en 1988 el Comité Coordinador Interagencial Federal de Cartografía Digital de E.U.A. definió los GIS como “un sistema de hardware, software y procedimientos de computadora diseñados para auxiliar en la captura, administración, manipulación, análisis, modelado y despliegue de información espacialmente referenciada para la solución de problemas complejos de planeación y administración”⁶².

Los GIS permiten describir mediante atributos *vectores* y *ráster* las características de una ubicación dada. Los *vectores* emplean polígonos, líneas o puntos para describir características de zonas, recorridos y ubicaciones, respectivamente, mientras que un *ráster* es una cuadrícula superpuesta sobre el mapa que contiene

un valor para cada celda, pudiendo indicar atributos como la elevación o insolación en esa zona⁶³.

Una valiosa fuente de información para el uso de GIS son los numerosos mapas en formato *shape* (*.shp) que pueden ser encontrados en los portales virtuales de INEGI⁶⁴ o CONABIO⁶⁵.

4.3.1 Técnicas de interpolación

Las técnicas de interpolación pueden ser agrupadas en estocásticas y determinísticas.

Los métodos estocásticos emplean técnicas estadísticas para predecir valores desconocidos basados en la correlación espacial entre puntos y proveen una evaluación de la fiabilidad de la superficie interpolada. Los métodos estocásticos más empleados son los *krigging*.

Los métodos determinísticos usan funciones matemáticas para calcular valores desconocidos basados en el grado de similitud con respecto a puntos conocidos. Incluyen las técnicas de media móvil, punto más cercano, medias ponderadas y la familia de los splines.

Considerando que la mayoría de las técnicas de interpolación arrojan resultados semejantes si los datos son abundantes⁶⁶ y que los métodos de *krigging* y de *thin plate spline* son formalmente equivalentes pero se formulan diferente⁶¹, queda la ventaja operacional del *thin plate spline* sobre el *krigging*, lo que se traduce en un tiempo de cómputo más corto⁶³. Por lo anterior se eligió la técnica de *thin plate spline* para la elaboración de los mapas empleados en la estimación de los potenciales eólico y solar.

5. Aplicación a la región Puebla-Tlaxcala

5.1 Importancia de las particularidades de una región en el balance energético

La región Puebla-Tlaxcala tiene características de la situación energética en común con otras regiones del país pero también con particularidades que la hacen única.

Entre las primeras están la presencia de los sectores de consumo final energético (Residencial, comercial y público, Agropecuario, Industrial y Transporte) y los energéticos empleados, que a nivel nacional incluyen principalmente gasolinas y naftas, diésel, electricidad, leña, gas LP, gas seco ^{19, 19}, la infraestructura de distribución (478 gasolineras en 2011) de PEMEX⁶⁷ y el aprovechamiento aún escaso de las ERNC.

Entre las segundas se pueden mencionar la cartera de generación de energía primaria, los energéticos secundarios que produce, los energéticos que emplea para la generación eléctrica, la presencia de permisionarios y de los recursos solar y eólico.

Es necesario obtener información sobre todos estos aspectos y cualquier otro relevante en cuanto al marco energético se refiere, con el fin de lograr una mejor aproximación a la situación energética de la zona de estudio.

5.2 Consideraciones

Para la realización de este trabajo se buscó obtener datos para cada proceso energético a nivel municipal, sin embargo no siempre fue posible debido a inexistencia de la información, principalmente en el caso del consumo final.

En aquellos casos en que no se contó con datos a nivel municipal, se recurrió a valores estatales, mismos que se distribuyen entre los municipios aplicando indicadores (por ejemplo la intensidad energética) como se verá más adelante.

En los casos en que se obtuvo confirmación de ventas internas o consumo de un energético pero no de sus entradas, se consideró que las entradas son iguales al consumo.

Si no se obtuvieron uno o más valores del consumo final por sector de un energético dado, se considera una proporción entre los datos faltantes igual a la que reporta el balance nacional de energía 2010 para el mismo energético.

No se tomaron en cuenta las pérdidas no técnicas o usos ilícitos de los energéticos.

Tabla 5.1. Energéticos y fuentes de información.

Dependencia u organismo	Energético
PEMEX y sus filiales	Petróleo crudo
	Condensados
	Gas natural
	Gas licuado
	Gasolinas y naftas
	Querosenos
	Diésel
	Combustóleo
	Gas seco
	CFE y CRE
Geoenergía	
Electricidad	
SENER	Carbón
	Leña
	Coque de carbón
Unión Nacional de Cañeros	Coque de petróleo
	Bagazo de caña

5.3 Fuentes de información

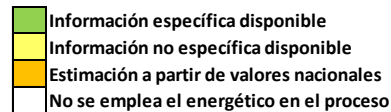
En México el sector energético está sujeto al control del estado, por lo que la información de algunos energéticos fue solicitada a dependencias gubernamentales a través del sistema Infomex⁶⁸ y organizaciones que se muestran en la tabla 5.1.

Además de las respuestas recibidas, se emplearon publicaciones de las dependencias arriba mencionadas así como de INEGI, AySA y ASERCA. Cabe mencionar que no se tiene información sobre aprovechamientos significativos de nucleenergía, energía solar o eólica en la zona de estudio.

El único energético para el que se contó con información de todos los sectores de consumo fue el gas seco.

Tabla 5.2. Disponibilidad de la información para el sector

		Carbón	Petróleo crudo	Condensados	Gas natural	Nucleoenergía	Hidroenergía	Geoenergía	Energía eólica	Bagazo de caña	Leña	Coque de carbón	Coque de petróleo	Gas LP	Gasolinas y naftas	Querosenos	Diésel	Combustóleo	Gas seco	Electricidad		
Oferta interna bruta	Producción		■		■		■	■	■	■	■											
	Entradas	■										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	Variación de inventarios													■	■							
	Salidas		■		■																	
	No aprovechada																					
Total transformación	Coquizadoras																					
	Refinerías y despuntadoras																					
	Plantas de gas y fraccionadoras																					
	Centrales eléctricas CFE y Permisionarios						■	■	■									■	■	■	■	
Consumo propio y pérdidas	Consumo propio del sector																				■	
	Perdidas (transp., alm. y dist.)																				■	
Consumo final total	Consumo final no energético	Petroquímica de Pemex																			■	
		Otras ramas económicas																				■
	Consumo final energético	Residencial, comercial y público										■										■
		Transporte																				■
		Agropecuario																				■
Industrial	■									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	



Una vez recopilada la información, se le dio el tratamiento siguiente.

5.4 Balance energético

5.4.1 Producción de energía primaria

En la región Puebla-Tlaxcala se cuenta con producción de los siguientes energéticos primarios:

Petróleo crudo y gas natural asociado en norte del estado de Puebla en la frontera con Veracruz, como parte del denominado Proyecto Aceite Terciario del Golfo (Xicontepepec)⁶⁹,

Leña en todos los municipios⁷⁰,

Bagazo de caña en dos ingenios azucareros (Atencingo y Calipam) del estado de Puebla⁷¹,

Hidroenergía en las distintas centrales de CFE⁷² y permisionarios⁷³, y

Geoenergía en la central Los Humeros en el municipio de Chignautla en el estado de Puebla⁷².

No se tiene reportado el aprovechamiento significativo de energía nuclear, eólica o solar en la región.

La información concerniente al petróleo crudo y el gas natural asociado se obtuvo de PEMEX Exploración y Producción. No se reportó la producción de condensados por lo que se considera inexistente en la región de estudio.

El consumo de leña con fines energéticos fue proporcionado por SENER, excepto para 20 de los 60 municipios de Tlaxcala debido a inexistencia de la información. Se asume que la leña producida en una zona se consume en la misma y no contempla el aprovechamiento de madera con fines no energéticos (fabricación de muebles, por ejemplo).

La producción de bagazo de caña con fines energéticos en los ingenios Calipam y Atencingo ubicados en el estado de Puebla, ocurre como un residuo del aprovechamiento de la caña de azúcar, y se asume su consumo en los mismos para alimentar su proceso como energético. La Unión Nacional de Cañeros emite periódicamente las estadísticas de cada zafra por ingenio, incluyendo el bagazo producido y su consumo de otros energéticos.

Ya que la información recopilada está dada en distintas unidades (barriles, m³, kg, ton, etc.) es necesario estandarizarlas a unidades de energía, en este caso PJ*, para lo cual se empleó la ecuación 5.1.

$$\text{Prod}_{i,PJ} = \text{Prod}_{i,j} * \text{PCN}_i \quad \text{Ec. 5.1}$$

Donde

Prod_{i,PJ} = producción del energético i en PJ,

Prod_{i,j} = producción del energético i en otras unidades (barriles, kg, etc),

PCN = Poder calorífico neto del energético i reportado en el BNE 2010.

También fue necesario convertir las unidades resultantes (MJ o KJ) a PJ.

Por otra parte, la información sobre la producción de hidroenergía y geoenergía se de CFE y diversos permisos autorizados por la CRE para la operación de centrales eléctricas por permisionarios.

En este caso, el método del contenido energético físico considera que la eficiencia de las centrales eléctricas que emplean energéticos primarios (excepto energía

* Los balances energéticos son reportados en petajoules (PJ), exajoules (EJ) o en millones de barriles de petróleo crudo equivalente (mbpce)

geotérmica y nuclear) es del 100%, por lo que la generación de dichos energéticos equivale a la su generación bruta de electricidad, y para estandarizar las unidades sólo se aplica el factor de equivalencia reportado por el BNE (1 MWh=3600 MJ).

Para la energía geotérmica en particular, se tienen pérdidas de calor equivalentes, por lo que se supone una eficiencia de la central geotérmica de 15.9%¹⁹¹⁹. Derivado de las consideraciones anteriores, la generación de energía geotérmica se obtiene mediante la ecuación 5.2.

$$\text{Prod}_{\text{Geo,PJ}} = \left(\frac{\text{GB}_{\text{Geo,MWh}}}{\text{ef}_{\text{Geo}}} \right) \left(\frac{3600\text{MJ}}{1\text{MWh}} \right) \left(\frac{1\text{PJ}}{10^9\text{MJ}} \right) \quad \text{Ec. 5.2}$$

Donde

$\text{Prod}_{\text{Geo,PJ}}$ = producción de energía geotérmica en PJ,

$\text{GB}_{\text{Geo,MWh}}$ = generación bruta de la central geotérmica en MWh,

ef_{Geo} = eficiencia de la central geotérmica reportada por el BEN igual a 15.9%.

5.4.2 Entradas de energéticos

Ya que en la región no se cuenta con refinerías, plantas de gas ni despuntadoras, no ingresan a la región de estudio petróleo crudo, gas natural ni condensados, tampoco se consideró el ingreso de otros energéticos primarios con excepción del carbón, cuyo consumo se supone en los procesos industriales de la región.

En cuanto a los energéticos secundarios, fueron confirmadas ventas de electricidad a la región por CFE; coque de petróleo, gasolinas y naftas, diésel y querosenos por PEMEX Refinación, ASERCA y AySA; gas LP y gas seco por parte de PEMEX Gas y Petroquímica Básica, por lo que se suponen iguales a las entradas. También se asumen entradas de coque de carbón y de combustóleo, debido a que se tiene presencia de ramas industriales y centrales eléctricas de permisionarios que los emplean con fines energéticos en la región⁷⁴.

Ya que la información recopilada reporta estos datos como ventas internas, es decir, incluye el consumo final, propio y/o destinado a transformación, las operaciones concernientes a estos energéticos se encuentran en las secciones siguientes.

5.4.3 Salidas de energéticos

Los únicos energéticos que salen de la región son el petróleo crudo y gas natural asociado extraídos en el estado de Puebla, que se envían a otras instalaciones de PEMEX para ser procesados.

5.4.4 Variación de inventarios

Se reportó existencia en inventarios de gas LP, gasolinas y naftas y diésel por parte de PEMEX Refinación en sus Terminales de Almacenamiento y Reparto (TAR) ubicadas en los municipios de Puebla y Santiago Miahuatlán, ambas en el estado de Puebla⁷⁵.

Estas instalaciones almacenan los combustibles mencionados en grandes cantidades para venderla a los distribuidores de Puebla y Tlaxcala (estaciones de servicio para el caso de gasolinas y diésel, y distribuidores en el caso del gas LP) que los ofertan a los consumidores finales.

La variación de inventarios se obtuvo mediante la ecuación 5.3.

$$\text{VarInv}_{i,j}=(E_{i,j}-EF_{i,j})(PCN_i) \quad \text{Ec. 5.3}$$

Donde

$\text{VarInv}_{i,PJ}$ = variación de inventarios del energético i en otras unidades (barriles, kg, etc.),

$E_{i,j}$ = existencias del energético i al final del año anterior al año de estudio (31 de diciembre de 2009) en otras unidades (barriles, kg, etc.),

$EF_{i,j}$ = existencias del energético i al final del año de estudio (31 de diciembre de 2010) en otras unidades (barriles, kg, etc.),

PCN_i = poder calorífico neto del energético i .

El resultado en kJ o MJ se llevó a PJ haciendo las conversiones necesarias.

En cuanto a los energéticos restantes, se asume que no son almacenados en cantidades significativas en la región.

5.4.5 Energía no aprovechada

Este rubro considera los derrames de petróleo y el gas natural enviado a la atmósfera. PEMEX Exploración y Producción reportó nulo este rubro.

5.4.6 Transformación

No se cuenta en la región con refinerías, plantas de gas, despuntadoras ni coquizadoras, sin embargo se tiene información de centrales eléctricas públicas y privadas.

La información sobre el consumo de energía para la generación eléctrica y la generación bruta de electricidad en las centrales privadas fue obtenida de los permisos emitidos por la CRE en el caso de los permisionarios, y de CFE en el

caso de las centrales públicas. Entre los energéticos empleados para la generación eléctrica se encuentran el combustóleo, el diésel, el gas seco y la hidroenergía (ver tabla 5.3).

Solamente el estado de Puebla cuenta con centrales eléctricas públicas, de las cuales la mayor de todas opera con gas seco (San Lorenzo Potencia en el municipio de Cuautlancingo). El resto de las centrales eléctricas públicas genera electricidad a partir de energía hidráulica⁷².

Asimismo, se cuenta con 13 centrales eléctricas de permisionarios en el estado de Puebla y 6 en el estado de Tlaxcala, de éstas sólo tres emplean hidroenergía y todas se ubican en el estado de Puebla.

Ya que el método de contenido energético físico considera la eficiencia de las centrales hidroeléctricas igual al 100%, solo se hace uso de un factor de equivalencia (1 MWh=3600 MJ) para obtener la generación de energía hidráulica en unidades de energía.

Con respecto al gas seco empleado en la central de San Lorenzo Potencia, SENER reporta una eficiencia promedio de 36.9% para las centrales termoeléctricas de CFE durante 2010¹⁹, por lo que el consumo de gas seco en PJ para la generación eléctrica se obtiene como se muestra en la ecuación 5.4.

$$Trans_{GasSeco,PJ} = \left(\frac{GB_{GasSeco,MWh}}{ef_{termoeléctricas}} \right) \left(\frac{3600MJ}{1MWh} \right) \left(\frac{1PJ}{10^9 MJ} \right) \quad Ec. 5.4$$

Donde

$Trans_{GasSeco,PJ}$ = cantidad de gas seco enviado a transformación en PJ,

$GB_{GasSeco,MWh}$ = generación bruta de la central que opera con gas seco en MWh, y

$ef_{termoeléctricas}$ = eficiencia media de las centrales termoeléctricas reportada por el BNE e igual a 36.9% para 2010.

Ya que las entradas que reportó PEMEX Gas y Petroquímica Básica no incluyeron la cantidad de gas seco enviado a San Lorenzo, se producirá una diferencia estadística.

Tabla 5.3 Permisos para generación eléctrica en la región Puebla-Tlaxcala.

Permisos vigentes									
Estado*	Municipio	Permiso	Modalidad	Energético	Energía empleada		GJ	Energía Generada (GWh)	Sector
					Cantidad	Unidad			
Puebla	San Miguel Xoxtla	E/172/AUT/2000	Autoabastecimiento	Gas natural	5.36 millones de Nm3		197667.97	30.24	industria
Puebla	Puebla	E/249/AUT/2003	Autoabastecimiento	Diésel	214.863	m3	7677.57	0.804	comercio
Puebla	Puebla	E/265/AUT/2003	Autoabastecimiento	Agua	-	-	78840.00	21.9	industria
Puebla	Puebla	E/304/AUT/2004	Autoabastecimiento	Diésel	308	m3	11919.82	1.06	industria
Puebla	Puebla	E/339/COG/2005	Cogeneración	Gas natural	5309.44	miles de m3	188061.97	20.1	industria
Puebla	Santa Rita Tlahuapan	E/500/AUT/2006	Autoabastecimiento	Diésel	416	m3	16099.50	1.64	industria
Puebla	Rafael Lara Grajales	E/520/AUT/2006	Autoabastecimiento	Diésel	485.2	m3	18769.51	2.07	industria
Puebla	Hueyapan	E/574/AUT/2007 (2)	Autoabastecimiento	Agua	NA	NA	766800.00	213	industria
Puebla	San Martín Texmelucan	E/605/COG/2007 (3)	Cogeneración	Gas natural, Combustóleo y aceite	2217 y 1265	m3	2107016.88	215.96923	industria
Puebla	Chiautzingo	E/808/AUT/2009	Autoabastecimiento	Agua	NA	NA	10368.00	2.88	industria
Puebla	Nopalucan	E/975/AUT/2013	Autoabastecimiento	Gas natural y biogás	75 y 867099	m3	7.56 y 1611	4.51	industria
Puebla	Huejotzingo	E/987/COG/2013	Cogeneración	Gas natural	20659367	m3	731629.85	85.78	industria
Puebla	Atencingo	1258 (4)	Usos propios	Combustóleo	NE	NE	244038.05	25.0139	industria
Tlaxcala	Santa Ana Chiautempan	E/180/AUT/2000	Autoabastecimiento	Gas natural	11.49 millones de Nm3		423732.27	33.34	industria
Tlaxcala	San Luis Teolocholco	E/324/AUT/2005	Autoabastecimiento	Diésel	807.84	m3	31263.97	3.06	industria
Tlaxcala	San Marcos Contla	E/457/AUT/2005	Autoabastecimiento	Diésel	2157.5	m3	83496.77	8.2	industria
Tlaxcala	Yahuquemecan	E/543/COG/2006 (1)	Cogeneración	Gas natural	89.579 millones de m3		3172916.14	373.8	industria
Tlaxcala	Tetla	E/628/AUT/2007	Autoabastecimiento	Diésel	685.13	m3	26515.02	2.28	industria
Tlaxcala	Apizaco	E/154/COG/99	Cogeneración	Gas natural	19.84 millones de Nm3		731666.52	37.27	industria

5.4.7 Consumo propio del sector

Se obtuvo información de consumo propio por parte del sector energético conformado por PEMEX⁷⁶ y CFE⁷⁷. El primero consume diésel, gas LP y electricidad para la operación de sus instalaciones, mientras que el segundo sólo consume electricidad. La cantidad de energía en PJ se obtuvo mediante la ecuación 5.5.

$$CP_{i,PJ} = CP_{i,j} * PCN_i \quad \text{Ec. 5.5}$$

Donde

$CP_{i,PJ}$ = consumo propio del energético i en el sector energético en PJ,

$CP_{i,j}$ = consumo propio del energético i en el sector energético en otras unidades (barriles, m^3 , etc), y

PCN_i = poder calorífico neto del energético i .

Nuevamente, las unidades resultantes (kJ o MJ) fueron llevadas a PJ para finalizar el proceso.

5.4.8 Consumo final no energético

PEMEX Petroquímica cuenta con una planta al interior de la región de estudio: el Complejo Petroquímico Independencia ubicado en el municipio de San Martín Texmelucan, que reportó consumo no energético de gas seco para la elaboración de metanol⁷⁸, su consumo en PJ se obtiene de la misma manera que en la ec. 5.5.

Es necesario mencionar que los consumos reportados por PEMEX Petroquímica y por PEMEX Gas y Petroquímica Básica no coinciden, lo que repercutirá en una diferencia estadística importante.

En el caso de Otras ramas económicas, no se tiene información sobre su consumo, sin embargo la presencia del PIB de éstas industrias (códigos SCIAN 324-326 y 327) indica su actividad en la región⁷⁴ y el BNE señala que además de gas seco consume gas LP y gasolinas y naftas¹⁹.

Por lo anterior se realizó una estimación de las gasolinas y naftas y gas LP empleadas para el Consumo final no energético, considerando el PIB de estas ramas como indicador¹⁸, ya que el desempeño económico y el consumo energético presentan una correlación²² (ver figura 5.1).

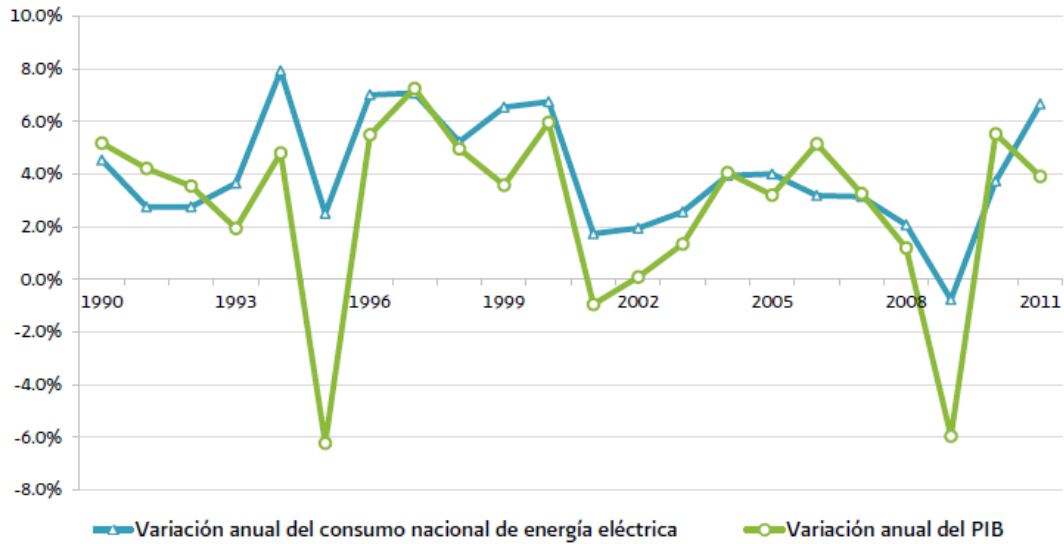


Figura 5.1. Evolución de la variación anual del PIB y el consumo nacional de energía eléctrica, 1990-2011. Fuente: Tomado de la Prospectiva del Sector Eléctrico 2012-2026 (SENER, 2012).

Por lo anterior, el consumo final no energético de gas LP y gasolinas y naftas se estimó con la ecuación 5.6.

$$CNEOR_{Reg,i} = CNEN_{Reg,i} \left(\frac{PIB_{Reg,ORNE}}{PIB_{Nal,ORNE}} \right) \quad \text{Ec. 5.6}$$

Donde

$CNEOR_{Reg,i}$ = Consumo no energético regional en otras ramas del energético i ,

$CNEN_{i,PJ}$ = Consumo no energético nacional del energético i en PJ,

$PIB_{Reg,ORNE}$ = PIB regional de Otras ramas no energéticas, y

$PIB_{Nal,ORNE}$ = PIB nacional de Otras ramas no energéticas.

5.4.9 Consumo final energético

5.4.9.1 Sector Residencial, comercial y público

La información recopilada sobre el consumo en el sector Residencial, comercial y público incluyó el consumo de electricidad por sector a nivel municipal reportado en los anuarios estadísticos^{15,16}, el consumo de leña a nivel municipal reportado por SENER a través del sistema Infomex⁷⁰, así como la cantidad de gas seco vendida a distribuidores al interior de la región de estudio.

Aunque se obtuvo información sobre las ventas internas de gas LP y diésel, no se obtuvo información relativa al consumo por sector de gas LP, querosenos y diésel,

por lo que se asumió el consumo de dichos energéticos en este sector, como se reporta en el BNE, y se consideró una distribución semejante a la nacional para los valores de consumo faltantes. La estimación se realizó como se muestra en las ecuaciones 5.7 a 5.9.

$$RCyP_{Reg, GLP} = (VI_{Reg, GLP} - IND_{Reg, GLP} - CNEOR_{Reg, GLP}) \left(\frac{RCyP_{Nal, GLP}}{RCyP_{Nal, GLP} + Transp_{Nal, GLP} + AGRO_{Nal, GLP}} \right) \quad Ec. 5.7$$

$$RCyP_{Reg, GS} = (VC_{Reg, GS}) \left(\frac{RCyP_{Nal, GS}}{RCyP_{Nal, GS} + Transp_{Nal, GS}} \right) \quad Ec. 5.8$$

$$RCyP_{Reg, QRS} = (RCyP_{Nal, QRS}) \left(\frac{Pob_{Reg}}{Pob_{Nal}} \right) \quad Ec. 5.9$$

Donde

RCyP = consumo energético del sector Residencial, comercial y público,

VI = Ventas internas reportadas por las filiales de PEMEX,

IND = consumo energético del sector industrial,

CNEOR = consumo no energético regional en otras ramas,

Transp = consumo energético del sector transporte,

AGRO = consumo energético del sector agropecuario,

VC = ventas internas a comercializadoras reportadas por las filiales de PEMEX,

Pob = población,

Transf = consumo del energético enviado a transformación (generación de electricidad),

CP = consumo propio del sector energético,

Los subíndices Reg y Nal hacen referencia a los niveles regional y nacional, mientras que los subíndices GLP, GS, DSL y QRS se refieren a gas LP, gas seco, diésel y querosenos, respectivamente.

5.4.9.2 Sector Transporte

El consumo de turbosina (querosenos) y gasavi3n (gasolinas) para el transporte a3reo en el aeropuerto Hermanos Serd3n en el estado de Puebla fue reportado por AySA mediante el sistema Infomex⁷⁹, el consumo de gasolinas y naftas se supuso igual a las ventas internas disminuidas en el consumo no energ3tico (Ec. 5.10). El consumo de gasolinas arrojado por la ecuaci3n 5.10 incluye el gasavi3n empleado en el aerotransporte.

$$\text{Transp}_{\text{Reg,GyN}} = \text{VI}_{\text{Reg,GyN}} - \text{CNEOR}_{\text{Reg,GyN}} \quad \text{Ec. 5.10}$$

Debido a la falta de informaci3n sobre el consumo de di3sel, gas LP y gas seco en el sector transporte, fue necesario realizar una estimaci3n sobre su consumo en el sector, como se muestra en las ecuaciones 5.11 a 5.13.

$$\text{Transp}_{\text{Reg,DSL}} = (\text{VI}_{\text{Reg,DSL}} - \text{AGRO}_{\text{Reg,DSL}} - \text{IND}_{\text{Reg,DSL}} - \text{Transf}_{\text{Reg,DSL}} - \text{CP}_{\text{Reg,DSL}}) \left(\frac{\text{Transp}_{\text{Nal,DSL}}}{\text{RCyP}_{\text{Nal,DSL}} + \text{Transp}_{\text{Nal,DSL}}} \right) \quad \text{Ec. 5.11}$$

$$\text{Transp}_{\text{Reg,GLP}} = (\text{VI}_{\text{Reg,GLP}} - \text{IND}_{\text{Reg,GLP}} - \text{CNEOR}_{\text{Reg,GLP}}) \left(\frac{\text{Transp}_{\text{Nal,GLP}}}{\text{RCyP}_{\text{Nal,GLP}} + \text{Transp}_{\text{Nal,GLP}} + \text{AGRO}_{\text{Nal,GLP}}} \right) \quad \text{Ec. 5.12}$$

$$\text{Transp}_{\text{Reg,GS}} = (\text{VC}_{\text{Reg,GS}}) \left(\frac{\text{Transp}_{\text{Nal,GS}}}{\text{RCyP}_{\text{Nal,GS}} + \text{Transp}_{\text{Nal,GS}}} \right) \quad \text{Ec. 5.13}$$

5.4.9.3 Sector Agropecuario

El consumo de di3sel en el sector agropecuario es publicado de manera peri3dica por ASERCA para los distintos estados de la rep3blica⁸⁰, el consumo de electricidad en el sector es publicado en los anuarios estadísticos de INEGI^{15,16}.

Debido a la inexistencia de informaci3n al respecto, se supone el consumo de gas LP y querosenos en este sector como se indica en el BNE. La estimaci3n del consumo de estos energ3ticos se realiz3 con las ecuaciones 5.14 y 5.15, respectivamente.

$$\text{AGRO}_{\text{Reg,GLP}} = (\text{VI}_{\text{Reg,GLP}} - \text{IND}_{\text{Reg,GLP}} - \text{CNEOR}_{\text{Reg,GLP}}) \left(\frac{\text{AGRO}_{\text{Nal,GLP}}}{\text{RCyP}_{\text{Nal,GLP}} + \text{Transp}_{\text{Nal,GLP}} + \text{AGRO}_{\text{Nal,GLP}}} \right) \quad \text{Ec. 5.14}$$

$$\text{AGRO}_{\text{Reg,QRS}} = (\text{AGRO}_{\text{Nal,QRS}}) \left(\frac{\text{SS}_{\text{Reg}}}{\text{SS}_{\text{Nal}}} \right) \quad \text{Ec. 5.15}$$

Donde

SS = superficie sembrada

5.4.9.4 Sector industrial

El consumo energético en el sector industrial tiene como principal desventaja la inexistencia de información específica de la región (ver tabla 5.4), sin embargo, se puede hacer uso del concepto de intensidad energética (cantidad de energía requerida para producir un peso de PIB)¹⁹ para la estimación del mismo en conjunto con la información disponible.

Al respecto, se obtuvo el consumo energético de la rama azucarera y de PEMEX Petroquímica el consumo de gas seco por rama industrial fue reportado por PEMEX Gas y Petroquímica Básica.

Tabla 5.4. Información sobre el consumo en el sector Industrial desglosado por ramas. Elaboración propia.

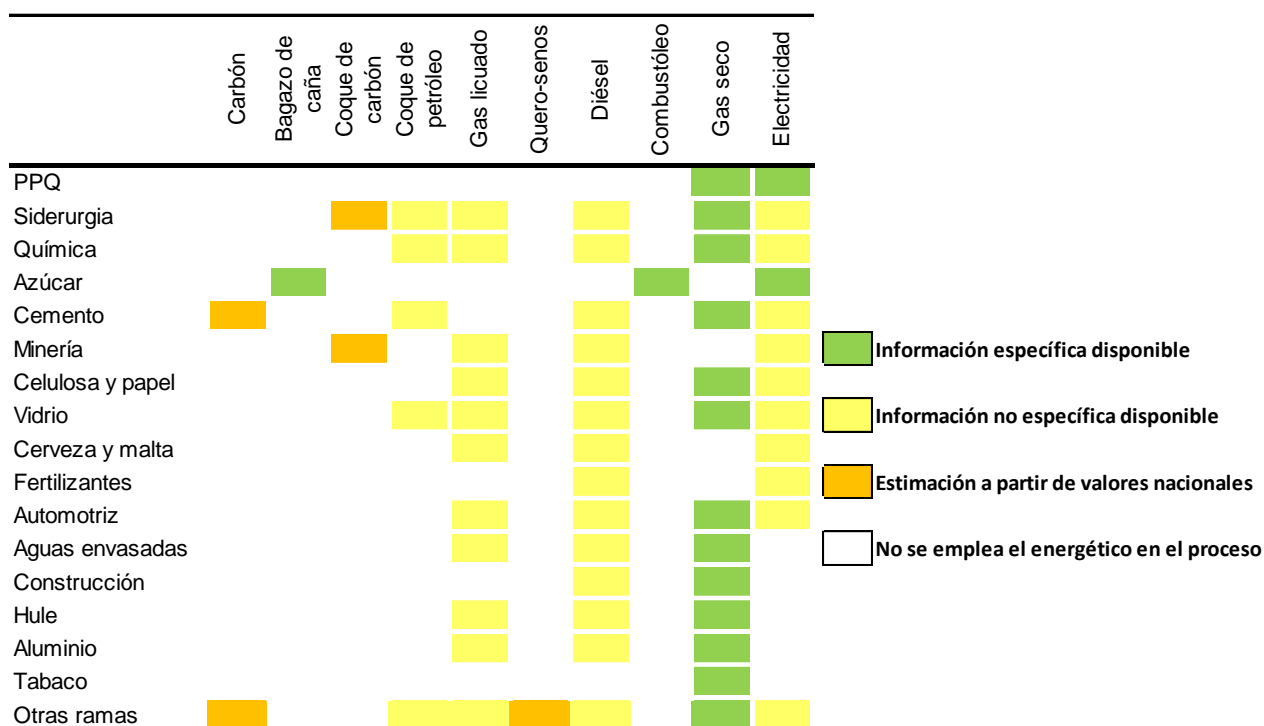


Figura 5.3. Información sobre el consumo en el sector Industrial desglosado por ramas. Elaboración propia.

También se obtuvo información sobre el consumo no significativo de combustóleo en la región por lo que sólo se considera el consumo reportado por la rama azucarera. De la misma manera, no se consume coque de petróleo significativamente en el estado de Tlaxcala pero sí en Puebla⁶⁷.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, se estimó el consumo energético en el sector industrial de acuerdo al siguiente procedimiento:

La información económica reportada por INEGI en los Censos económicos 2009 (año de estudio 2008)⁷⁴ y la información sobre el consumo energético en las ramas industriales reportada en el BNE 2010 se relaciona mediante los equivalentes propuestos por Juárez y Lastiri⁸¹.

Estos equivalentes relacionan las ramas contempladas en el sistema de clasificación industrial de SENER con las del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) empleado por INEGI (ver Anexo 3).

En las ecuaciones 5.16 a 5.20, los términos IND y PBT representan el consumo industrial y la producción bruta total, respectivamente. Los subíndices i, j, k corresponden a municipio, rama industrial y energético, mientras que los subíndices Nal, Reg y Est corresponden a nacional, regional y estatal, respectivamente. El año del dato es denotado por el superíndice.

Tomando la Producción Bruta Total (PBT) como indicador, el consumo energético total por la rama j en el municipio i para 2008 puede ser estimado mediante la ecuación 5.16.

$$IND_{i,j}^{2008} = PBT_{i,j}^{2008} \left(\frac{IND_{i,j}^{2008}}{PBT_{Nal,j}^{2008}} \right) \quad \text{Ec. 5.16}$$

El consumo energético estatal de cada rama se obtiene como la suma de los consumos municipales de las mismas (ec. 5.17).

$$IND_j^{2008} = \sum_i IND_{i,j}^{2008} \quad \text{Ec. 5.17}$$

La variación del consumo energético entre 2008 y 2010 se supone igual a la variación de la PBT, por lo que el consumo energético total de cada rama industrial para el año 2010 se obtiene mediante la ecuación 5.18.

$$IND_j^{2010} = (IND_j^{2008}) \left(\frac{PBT_j^{2010}}{PBT_j^{2008}} \right) \quad \text{Ec. 5.18}$$

Con el fin de estimar cuali y cuantitativamente los energéticos consumidos en las ramas industriales durante 2010, se supone la misma la participación de cada uno en las ramas que se tuvo en 2008, por lo que el consumo del energético k en la rama j durante 2010 se obtiene de la ecuación 5.19.

$$IND_{j,k}^{2010} = (IND_j^{2010}) \left(\frac{IND_{Nal,j,k}^{2008}}{\sum IND_{Nal,j,k}^{2008}} \right) \quad \text{Ec. 5.19}$$

Finalmente, el consumo del energético k en la rama j en el municipio i para 2010 se estima con la ecuación 5.20.

$$IND_{i,j,k}^{2010} = (IND_{j,k}^{2010}) \left(\frac{PBT_{i,k}^{2010}}{\sum PBT_{i,k}^{2010}} \right) \quad \text{Ec. 5.20}$$

5.4.10 Estimación del consumo de energéticos a nivel municipal

Ya que algunos valores de consumos no fueron reportados a nivel municipal, se realizó una estimación a partir del consumo estatal. Para ello se emplearon indicadores ligados al consumo de cada sector energético¹⁸ (ver tabla 5.5) en la ecuación 5.21.

Tabla 5.5. Indicadores empleados para la estimación de consumos municipales.

Sector	Indicador	Fuente
Residencial, comercial y público	Población municipal	Anuarios estadísticos (INEGI)
Transporte	Vehículos registrados en el municipio	Anuarios estadísticos (INEGI)
Industrial	PIB y PBT	Censos económicos 2009
Agropecuario	Hectáreas sembradas en el municipio	Anuarios estadísticos (INEGI)

$$\text{Cons mun}_i = (\text{Cons est}) \left(\frac{\text{ind}_i}{\text{ind}_{\text{Est}}} \right) \quad \text{Ec. 5.21}$$

Donde:

Cons mun _i = consumo energético del municipio i,

Cons est = consumo estatal reportado,

ind _i = valor del indicador del municipio i (tomado del anuario estadístico de INEGI),

ind _{Est} = valor del indicador del estado (tomado del anuario estadístico de INEGI).

Una particularidad importante en el consumo del gas seco en la región Puebla-Tlaxcala es su dependencia de la infraestructura para su distribución, misma que se encuentra concesionada al consorcio NATGASMEX S.A. de C.V. por parte de la CRE e incluye a 35 municipios de Tlaxcala y 16 de Puebla⁸² (ver tabla 5.6).

En el caso del consumo energético final del gas seco y gas LP, se asumió que los municipios concesionados a NATGASMEX no consumen gas LP en el sector residencial, comercial y público, y el resto no consume gas seco en el mismo.

Tabla 5.6. Municipios que integran la zona Geográfica de Puebla - Tlaxcala concesionada para la distribución de gas seco. Elaboración propia con datos de la CRE.

Puebla		Tlaxcala	
Amozoc	Acuamanala de Miguel Hidalgo	Santa Ana Nopalucan	
Atlixco	Amaxac de Guerrero	Santa Apolonia Teacalco	
Coronango	Apetatitlán de Antonio Carvajal	Santa Catarina Ayometla	
Cuautinchán	Apizaco	Santa Cruz Quiletla	
Cuatlaningo	Chiautempan	Santa Isabel Xiloxotla	
Domingo Arenas	Contla de Juan Cuamatzi	Tenancingo	
Huejotzingo	Ixtacuixtla de Mariano Matamoros	Teolochoico	
Juan C. Bonilla	Magdalena Tlaltelulco	Tepetitla de Lardizábal	
Ocoyucan	Mazatecochco de José María	Tepeyanco	
Puebla	Nativitas	Tetla de la Solidaridad	
San Andrés Cholula	Panotla	Tetlatlauca	
San Martín Texmelucan	Papalotla de Xicohtécatl	Tlaxcala	
San Miguel Xotxtla	San Damián Texoloc	Totolac	
Santa Isabel Cholula	San Francisco Tetlanohcan	Xalostoc	
San Pedro Cholula	San Jerónimo Zacualpan	Xicotzingo	
Tlaltenango	San Juan Huactzinco	Yauhquemehcan	
	San Lorenzo Axocomanitla	Zacatelco	
	San Pablo del Monte		

5.5 Huella de carbono

Empleando la información proporcionada por el balance energético es posible estimar las emisiones a la atmósfera provenientes del sector energético.

Se asume que el consumo no energético no produce emisiones ya que se destina a la elaboración de bienes no energéticos, tal es el caso del gas seco procesado en el Complejo Petroquímico Independencia para la producción de metanol.

5.5.1 Estimación de las emisiones de GEI debido al consumo de energéticos

Las emisiones de cada GEI a la atmósfera debido al consumo de energéticos se obtienen mediante la siguiente ecuación:

$$GEI_{ijk} = (\text{Consumo}_{jk})(FE_{jk}) \quad \text{Ec. 5.22}$$

Donde:

GEI_{ijk} = Emisiones del GEI i debido al consumo del energético j en el sector k,

Consumo_{jk} = Consumo del energético j en el sector k,

FE_{jk} = Factor de emisión del consumo del energético j en el sector k reportado por el IPCC,

Las emisiones expresadas en equivalentes de CO₂ (GEI_{CO_2eq}) se obtienen al incluir el potencial de calentamiento global (GWP) de cada GEI, como se expresa en la ecuación siguiente 5.23.

$$GEI_{FyB} = \sum_i^n (GEI_i)(GWP)_i \quad \text{Ec. 5.23}$$

Donde:

GEI_{FyB} = emisiones de GEI debidas al consumo de energéticos fósiles y biogénicos en equivalentes de CO₂,

GEI_i = Emisiones del GEI i (i=CO₂, CH₄, N₂O)

GWP_i = Potencial de calentamiento global del GEI i, dados en la tabla 3.2.

Ya que el factor de emisión para electricidad reportado por el programa GEI México está dado en toneladas de CO₂eq (CO₂eq), no es necesario hacer uso del GWP.

Las emisiones totales de GEI son la suma de las emisiones debidas al consumo de energéticos fósiles y biogénicos y al consumo de electricidad, como se indica en la ecuación 5.24.

$$GEI_{Total} = GEI_{FyB} + GEI_{Elec} \quad \text{Ec. 5.24}$$

Finalmente, las emisiones per cápita se obtienen mediante la razón de las emisiones de una región y el número de habitantes en esa región, como se muestra en la ecuación 5.25.

$$GEI_{CO_2eq\text{percápita}} = GEI_{Total} / Población \quad \text{Ec. 5.25}$$

5.6 Estimación de los potenciales

5.6.1 Elaboración de los mapas

Para la estimación de los potenciales solar y eólico, fue necesaria la elaboración de mapas que muestren la distribución de éstas fuentes de energía en la región Puebla-Tlaxcala.

Se eligió el paquete SAGA GIS para la elaboración de los mapas por tratarse de un software de licencia abierta, esto es, de distribución libre.

La información sobre la velocidad del viento y la irradiación solar en los estados de Puebla y Tlaxcala y sus alrededores se extrajo del Explorador de Recursos Renovables⁸³ del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) como velocidad a 80 metros e irradiación global anual.

Con los datos obtenidos, se realizó la interpolación de los datos (ver anexo 2) y se obtuvieron los siguientes mapas de las figuras 5.3 y 5.4.

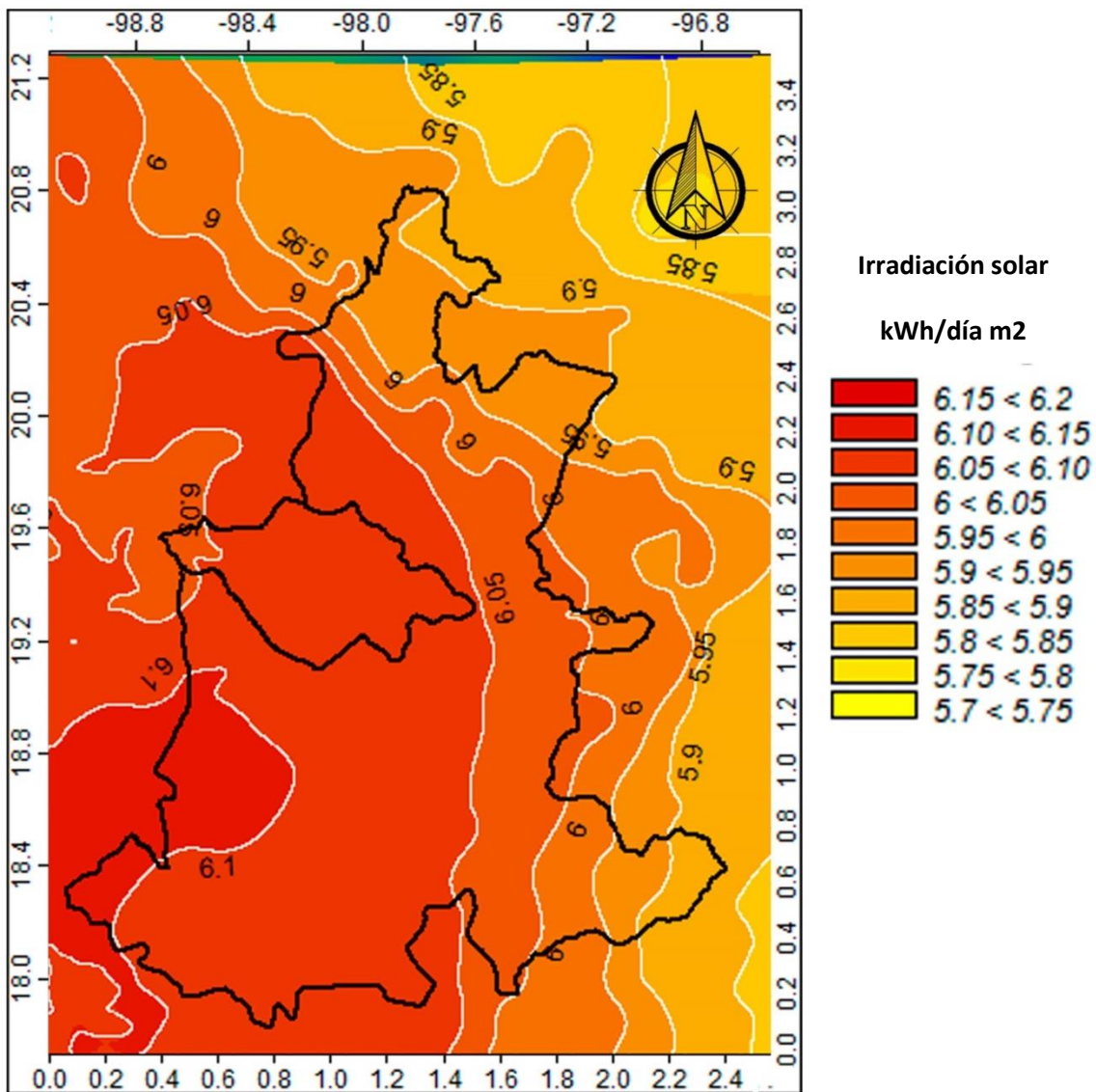


Figura 5.3. Irradiación solar en la región Puebla-Tlaxcala.
Elaboración propia con datos del Instituto de Investigaciones Eléctricas.

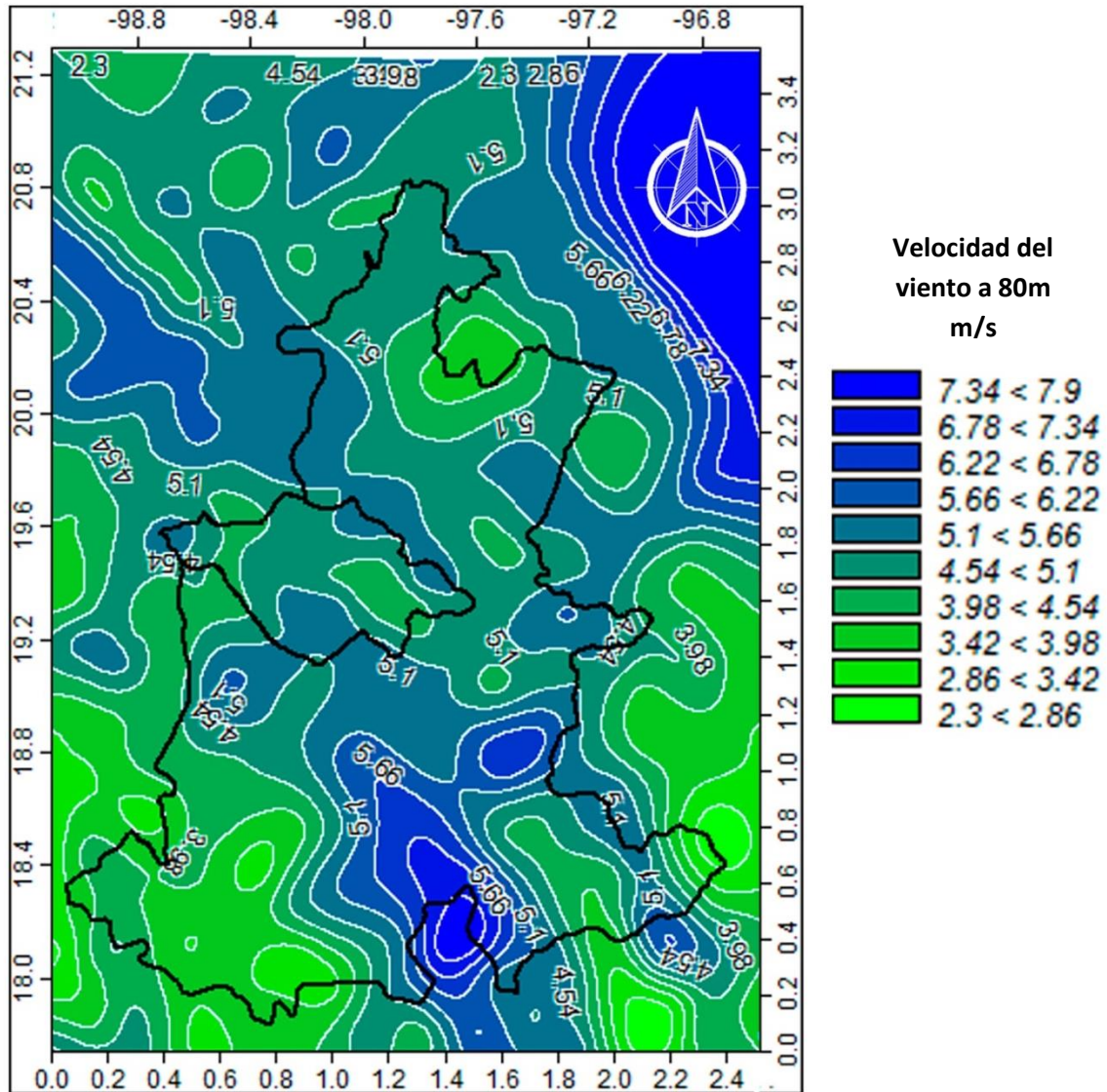


Figura 5.4. Velocidad del viento (m/s) a 80m sobre el suelo en la región Puebla-Tlaxcala. Elaboración propia con datos del Instituto de Investigaciones Eléctricas.

5.6.2 Estimación del Potencial Solar

La determinación del Potencial se obtuvo de acuerdo con el método propuesto por Juárez, Herrera, Juárez, Reyes & Martínez⁸⁴ mediante la ecuación 5.26.

$$PS = (A)(ef)(RSP) \tag{Ec. 5.26}$$

Donde:

A = superficie de la zona,

ef = eficiencia de la tecnología del aprovechamiento reportada como 20% por Juárez et al (2010),

RSP = irradiación solar media.

Los resultados arrojados por la ecuación se convierten a PJ con el fin de estandarizar con las unidades del balance energético. Esta estimación se realizó para las diferentes regiones socioeconómicas contempladas.

Para la estimación del recurso solar base, se supone una disponibilidad de 0.1% de la superficie con irradiación más apta para el aprovechamiento de la energía solar y se obtuvo como se muestra en la ecuación 5.27.

$$RS = 0.001(A_{Apta})(ef)(RSP_{Apta}) \quad \text{Ec. 5.27}$$

Donde:

A_{APTA} = área de la zona con la mayor irradiación solar,

RSP_{APTA} = irradiación solar promedio en esta zona.

5.6.3 Estimación del Potencial Eólico

De acuerdo con el método propuesto por Archer & Jacobson⁸⁵, el viento se clasifica según su velocidad (ver tabla 5.7), y sólo el viento con velocidad clase 3 (6.9 a 7.5 m/s) o superior ofrece la posibilidad de explotación viable técnica y económicamente.

Los estudios sobre el potencial eólico han optado por estimar la velocidad del viento a alturas cada vez superiores, los más recientes la estiman a 80m sobre el suelo, como es el caso del Explorador de Energías Renovables en México. Esto como consecuencia de la tendencia en el incremento de la altura de los aerogeneradores para aprovechar mayores velocidades del viento que se encuentran a alturas superiores.

Aunque en México ya se emplean turbinas de hasta 100m de altura y 1800 kW de potencia⁸⁶ para regiones con características semejantes en velocidad del viento y orografía a la región Puebla-Tlaxcala, se estimó el potencial con datos conservadores de una turbina de 77m de diámetro y 1500kW como lo estiman Archer & Jacobson⁸⁵.

Tabla 5.7. Clasificación de la velocidad del viento.
 Elaboración propia con datos de Archer & Jacobson. Evaluation of Global Wind Power. Journal of Geophysical Research, Vol. 110, 2005.

Clases de viento a 80m (m/s)	
1	$V < 5.9$
2	$5.9 \leq V < 6.9$
3	$6.9 \leq V < 7.5$
4	$7.5 \leq V < 8.1$
5	$8.1 \leq V < 8.6$
6	$8.6 \leq V < 9.4$
7	$V \geq 9.4$

El potencial eólico de la región Puebla-Tlaxcala se determinó usando las ecuaciones 5.32 y 5.33 para cada región socioeconómica.

$$WP = (f)(A)(\delta) \left[(P_{nom}) \left(0.087(V) - \frac{(P_{nom})}{(D)^2} \right) \right] \quad \text{Ec. 5.28}$$

$$\delta = \frac{1}{\frac{4D}{1000} * \frac{7D}{1000}} \quad \text{Ec. 5.29}$$

Donde:

f = fracción de estaciones con viento clase 3 o superior, se toma como la fracción de superficie con vientos de clase 3 o superior,

A = área total de las zona considerada,

δ = densidad de turbinas, turbinas/km²,

D = diámetro de turbina, m,

P_{nom} = potencia nominal de la turbina, se toma como 1500 kW,

V = velocidad del viento en la zona.

En la publicación *Perspectiva de Energías Renovables*⁴², se considera que sólo el 10% de la superficie con potencial de aprovechamiento eólico es aprovechable debido a factores orográficos, ambientales, sociales, y de factibilidad técnica y económica. Para la estimación del recurso eólico en este trabajo se consideró sólo el 1% de la superficie total con potencial eólico aprovechable, como se muestra a en la ecuación 5.30.

$$WR = 0.001(f)(A)(\delta) \left[(P_{nom}) \left(0.087(V) - \frac{(P_{nom})}{(D)^2} \right) \right] \quad \text{Ec. 5.30}$$

Los resultados obtenidos se presentan en el capítulo siguiente.

6. Resultados y discusión

Una vez reunidos y procesados los datos se obtuvieron los resultados mostrados en este capítulo. El balance energético de la región Puebla-Tlaxcala para el año 2010 se muestra de manera gráfica en el diagrama de sankey de la figura 6.2 y de forma matricial en la tabla 6.1, también se detallan los aspectos más importantes del ámbito energético a continuación.

Posteriormente se abordan los resultados de la estimación de la huella de carbono debida al consumo energético por región socioeconómica y tipo de energético (fósil, biogénico o electricidad), se muestran los mapas generados para la estimación de los potenciales eólico y solar y los resultados de dichas estimaciones.

6.1 Balance de energía

6.1.1 Producción de energía primaria

La producción de energía primaria en la región fue de 75.414 PJ en 2010 (ver figura 6.1), lo que representa sólo el 0.82% de la producción a nivel nacional¹⁹. Encabezan la lista el petróleo crudo y la leña con más de un tercio del total cada uno, seguidos del gas natural y la geoenergía; la hidroenergía y el bagazo de caña tuvieron participaciones semejantes entre sí con poco más del 4%.

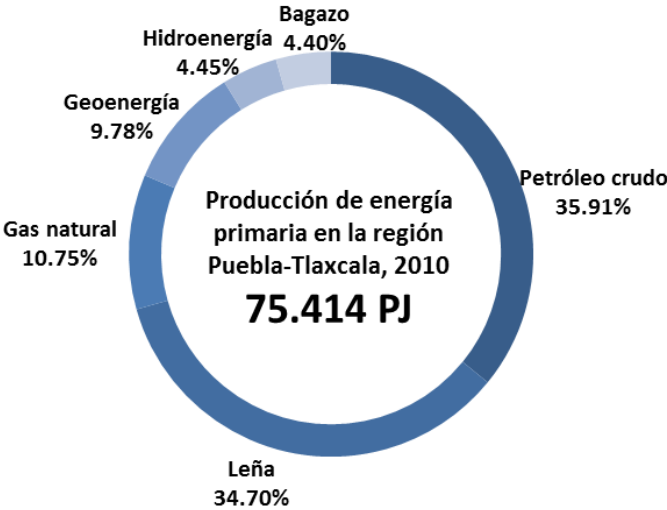


Figura 6.1. Producción de energía primaria en la región Puebla-Tlaxcala 2010.

Es necesario hacer notar que los energéticos fósiles (petróleo y gas natural) constituyen casi la mitad de la producción de energía primaria, y que la producción de leña con fines energéticos es comparable con la de petróleo crudo.

PJ	Carbón	Petróleo crudo	Condensados	Gas natural	Nucleoenergía	Hidroenergía	Geoenergía	Energía eólica	Bagazo de caña	Leña	Total de energía primaria
Oferta interna bruta	0.593	0.000	0.000	0.000	0.000	3.360	7.378	0.000	3.318	26.171	40.819
Producción	0.000	27.078	0.000	8.109	0.000	3.360	7.378	0.000	3.318	26.171	75.414
Entradas	0.593	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.593
Variación de inventarios	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Salidas	0.000	-27.078	0.000	-8.109	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-35.187
No aprovechada	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total transformación	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.360	-7.378	0.000	0.000	0.000	-10.738
Coquizadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Refinerías y despuntadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Plantas de gas y fraccionadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Centrales eléctricas CFE y Permisionarios	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.360	-7.378	0.000	0.000	0.000	-10.738
Consumo propio del sector	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Perdidas (transp., alm. y dist.)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Consumo final total	-0.593	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.318	-26.171	-30.082
Consumo final no energético	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Petroquímica de Pemex	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otras ramas económicas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Consumo final energético	-0.593	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.318	-26.171	-30.082
Residencial, comercial y público	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-26.171	-26.171
Transporte	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Agropecuario	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Industrial	-0.593	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.318	0.000	-3.910
Producción bruta de energía secundaria											
Diferencia estadística	n.d.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabla 6.1. Representación matricial del balance energético de la región Puebla-Tlaxcala 2010

PJ	Coque de carbón	Coque de petróleo	Gas LP	Gasolinas y naftas	Querosenos	Diésel	Combustóleo	Gas seco	Electricidad	Total de energía secundaria	Total
Oferta interna bruta	2.955	9.047	44.254	68.455	0.693	28.768	0.314	42.686	22.709	219.881	260.700
Producción	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	75.414
Entradas	2.955	9.047	44.350	68.380	0.693	28.650	0.314	42.686	22.709	219.784	220.377
Variación de inventarios	0.000	0.000	-0.096	0.075	0.000	0.117	0.000	0.000	0.000	0.097	0.097
Salidas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-35.187
No aprovechada	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total transformación	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.196	-0.244	-31.188	16.287	-15.341	-26.078
Coquizadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Refinerías y despuntadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Plantas de gas y fraccionadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Centrales eléctricas CFE y Permisionarios	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.196	-0.244	-31.188	16.287	-15.341	-26.078
Consumo propio del sector	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.047	0.000	-3.714	-0.250	-4.011	-4.011
Perdidas (transp., alm. y dist.)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.114	-3.114	-3.114
Consumo final total	-2.955	-9.047	-44.254	-68.455	-0.693	-28.525	-0.070	-40.307	-35.633	-229.938	-260.020
Consumo final no energético	0.000	0.000	-0.058	-3.157	0.000	0.000	0.000	-0.618	0.000	-3.832	-3.832
Petroquímica de Pemex	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.618	0.000	-0.618	-0.618
Otras ramas económicas	0.000	0.000	-0.058	-3.157	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.215	-3.215
Consumo final energético	-2.955	-9.047	-44.197	-65.298	-0.693	-28.525	-0.070	-39.689	-35.633	-226.106	-256.188
Residencial, comercial y público	0.000	0.000	-37.724	0.000	-0.049	-0.161	0.000	-7.768	-10.727	-56.429	-82.601
Transporte	0.000	0.000	-4.333	-65.298	-0.643	-25.823	0.000	-0.095	0.000	-96.192	-96.192
Agropecuario	0.000	0.000	-0.666	0.000	-0.001	-0.475	0.000	0.000	-1.028	-2.171	-2.171
Industrial	-2.955	-9.047	-1.474	0.000	0.000	-2.065	-0.070	-31.827	-23.877	-71.314	-75.224
Producción bruta de energía secundaria	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	16.287	16.287	16.287
Diferencia estadística	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-32.524	n.d.	n.d.	-32.524

Tabla 6.1. Representación matricial del balance energético de la región Puebla-Tlaxcala 2010 (continuación).

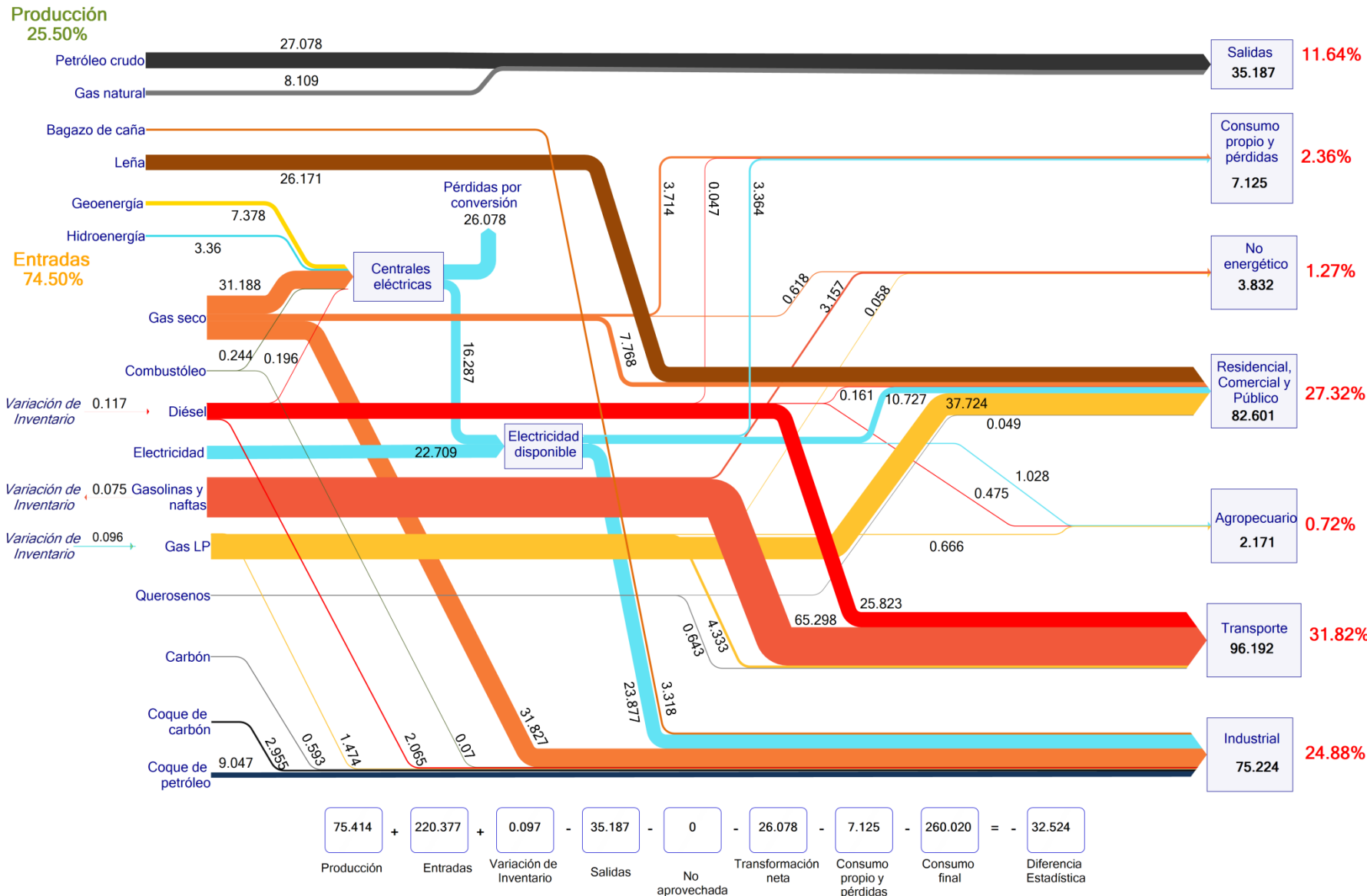


Figura 6.2. Diagrama de sankey para el balance energético de la región Puebla-Tlaxcala 2010.

La producción de energía en el estado de Tlaxcala es únicamente leña y aporta el 2.85% del total regional, por su parte el estado de Puebla tiene una producción de energía primaria más diversificada (ver figura 6.3).

Además de la producción de leña en Puebla (31.86% del total regional), se extrae en el norte del estado petróleo crudo (35.91%) y gas natural (10.75%) en los municipios de Francisco Z. Mena, Pantepec y Venustiano Carranza, se aprovecha la geoenergía (9.78%) en el municipio de Chignautla y la hidroenergía (4.45%) en los municipios de Tlatlauquitepec, Puebla, Hueyapan, Chiauhtzingo y Ocoyucan. La energía primaria producida en Puebla equivale a más de 34 veces la producida en Tlaxcala.

La región socioeconómica de Puebla con mayor producción fue la región I con 54.95% del total regional debido a la extracción de petróleo crudo y gas natural asociado, además de una porción importante de leña (23.99% del total regional), le siguen en importancia las regiones II, V y III.

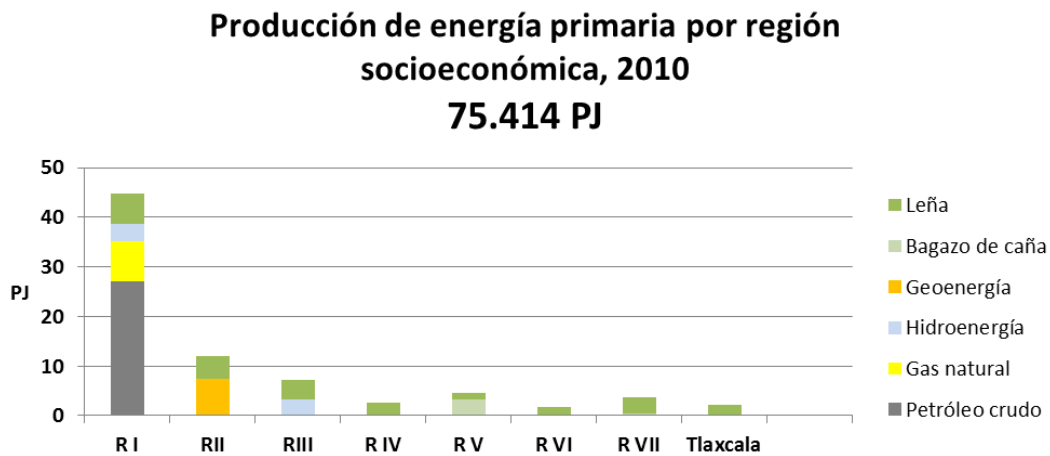


Figura 6.3. Producción de energía primaria en 2010 en la región Puebla-Tlaxcala por región socioeconómica.

Hasta el año 2010 no se ha reportado generación significativa de energía proveniente del recurso solar y eólico en la región.

6.1.2 Energía primaria enviada a transformación

La energía primaria enviada a transformación durante 2010 ascendió a 10.738 PJ, y se trata principalmente de geoenergía (68.71%) con más de dos tercios del total, el resto corresponde a hidroenergía, toda aprovechada en el estado de Puebla, como se aprecia en la figura 6.4.

La región socioeconómica con mayor participación fue la región II con 98.65% del total regional debido a la presencia de la central geotermoeléctrica los Humeros en Chignautla y a centrales hidroeléctricas en los municipios de Hueyapan y

Tlatlauquitepec. El 1.35% restante fue aportado por la región IV debido a centrales hidroeléctricas establecidas en Ocoyucan, Puebla y Chiantzingo.



Figura 6.4. Energía primaria en 2010 enviada a transformación en la región Puebla-Tlaxcala por región socioeconómica.

Cabe resaltar que toda la energía primaria enviada a transformación fue destinada a la generación eléctrica pese a que hay una pequeña producción de petróleo en la región, mismo que se envió fuera de la región para su procesamiento.

6.1.3 Energía secundaria enviada a transformación

La energía secundaria destinada a transformación fue casi completamente gas seco (más del 98%) como se muestra en la figura 6.5, le siguen el combustóleo y el diésel. La alta participación del gas seco se debe a la operación de la Central Termoeléctrica de San Lorenzo Potencia, la mayor de todas las centrales eléctricas en la región, de otras cinco pertenecientes a permisionarios en el estado de Puebla y tres más ubicadas en el estado de Tlaxcala, todas operando con este combustible.

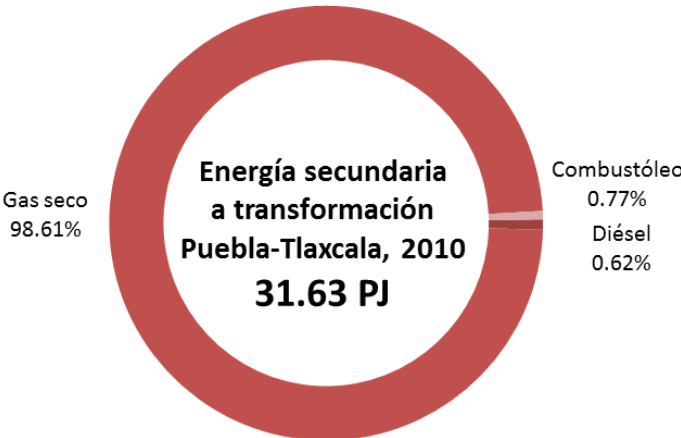


Figura 6.5. Energía secundaria enviada a transformación en la región Puebla-Tlaxcala durante 2010.

6.1.3.1 Energía secundaria enviada a transformación en el estado de Puebla

Como se mencionó anteriormente, la CFE cuenta con una central termoeléctrica que opera con gas seco en el estado de Puebla y que empleó el 74.65% de la energía enviada a transformación (23.61 PJ) en la región (ver figura 6.6). Esta es la única central del sector público que emplea un energético secundario para operar.

Por su parte, los permisionarios en este estado emplearon gas seco para la generación eléctrica en un 91.59%, así como combustóleo y diésel en un 6.88% y 1.54%, respectivamente.

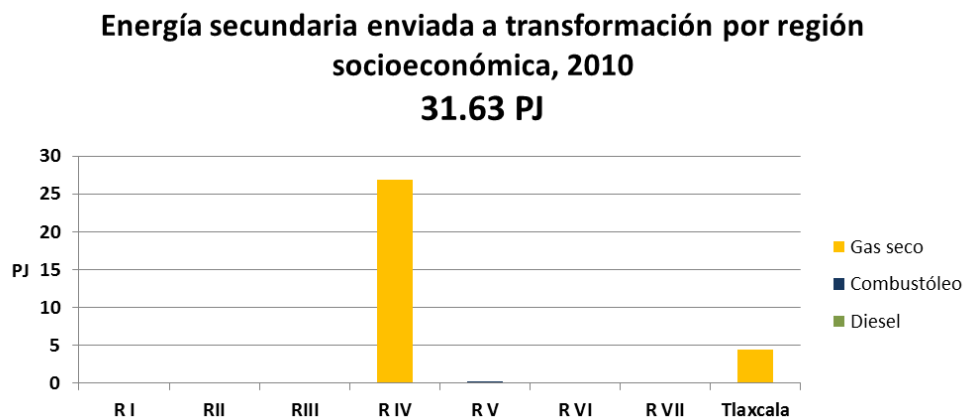


Figura 6.6. Energía secundaria enviada a transformación durante 2010 en la región Puebla-Tlaxcala por región socioeconómica.

La región socioeconómica con mayor envío de energéticos secundarios a transformación fue la región IV debido a la central termoeléctrica San Lorenzo Potencia (ver figura 6.7).

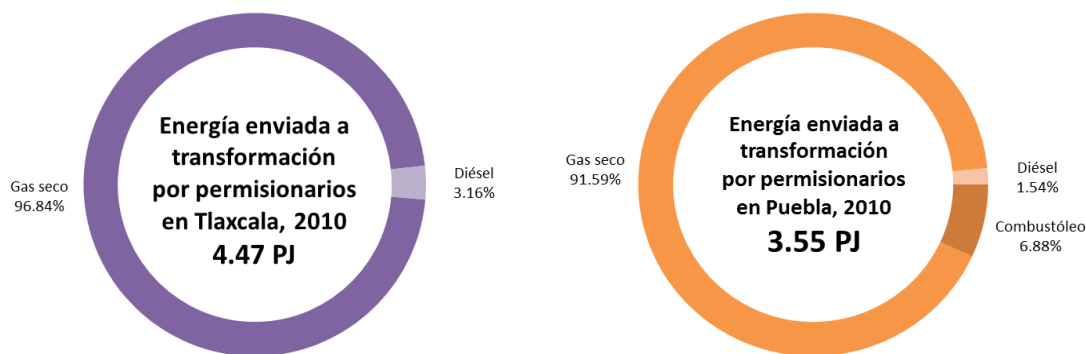


Figura 6.7. Energía secundaria enviada a transformación por permisionarios en los estados de Puebla y Tlaxcala durante 2010.

6.1.3.2 Energía secundaria enviada a transformación en el estado de Tlaxcala

Si bien en el estado de Tlaxcala no hay centrales eléctricas de CFE, sí las hay de permisionarios, mismos que representaron en 2010 el 15.92% de la energía secundaria enviada a transformación en la región y el 55.75% de la enviada a transformación por permisionarios en la región. De ésta, el 96.84% corresponde a gas seco y el restante a diésel.

6.1.4 Producción bruta de energía secundaria

La energía secundaria producida en la región corresponde enteramente a electricidad (ver figura 6.8) proveniente de las centrales eléctricas de CFE y de permisionarios, en 2010 tuvo un valor de 16.287 PJ, de la que 76.06% fue generada por CFE y 23.94% por permisionarios.

La mayor parte de la generación eléctrica se realizó en el estado de Puebla debido a la presencia de la central termoeléctrica San Lorenzo Potencia de CFE, que aportó el 53.49% del total regional.

De la energía generada por permisionarios, el 57.71% se realizó en Puebla y casi toda se generó a partir de gas seco (73.97%) e hidroenergía (21.96%). La región socioeconómica que tuvo la mayor producción bruta de energía secundaria fue la región IV con más del 60% de la generación de electricidad de la región Puebla-Tlaxcala.

**Producción bruta de electricidad por región
socioeconómica, 2010
16.287 PJ**

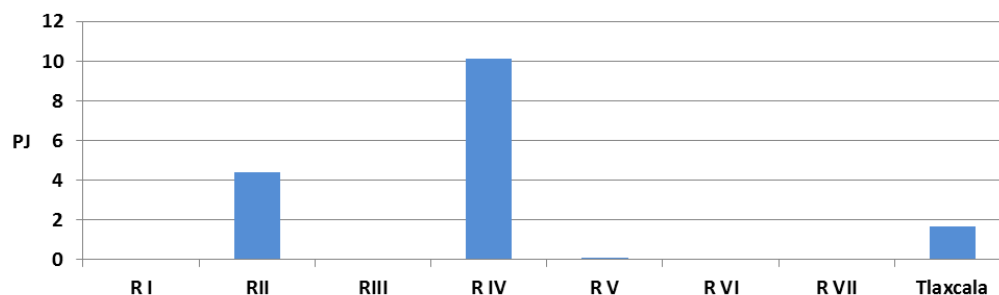


Figura 6.8. Producción bruta de electricidad durante 2010 en la región Puebla-Tlaxcala por socioeconómica.

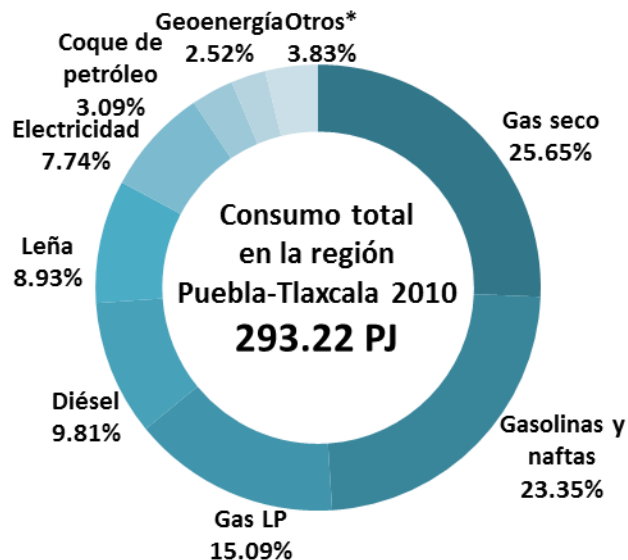
La electricidad generada en la región provino casi completamente de gas seco (71.21%), hidroenergía (20.63%) y geoenergía (7.18%), el combustóleo y el diésel tuvieron una participación marginal.

Cabe resaltar que la cantidad de energía geotérmica enviada a transformación no concuerda con su generación de electricidad aunque se trata de un energético primario, esto es debido a que se reportan pérdidas equivalentes de calor iguales al 84.1% de la geoenergía producida.

6.1.5 Consumo total

El consumo total de energía (equivalente a la oferta interna bruta) en la región de estudio alcanzó un valor de 293.22 PJ en 2010, el 3.6% del consumo total nacional¹⁹, como se aprecia en la figura 6.9.

El energético más empleado fue el gas seco, le siguen las gasolinas y naftas y el gas LP. Los energéticos renovables (hidroenergía, geoenergía, bagazo de caña y leña) tan sólo participaron con el 13.72%.



Figra 6.9. Consumo total de energía en la región Puebla-Tlaxcala durante 2010.

6.1.6 Consumo energético final

El consumo energético final de energía en la región Puebla-Tlaxcala durante 2010 ascendió a 256.188 PJ, lo que corresponde a 5.48% del total nacional¹⁹ y a casi 3.5 veces la producción de energía en la región.

El sector con mayor consumo fue el Transporte seguido muy de cerca por el Residencial, comercial y público y por el Industrial, el sector Agropecuario tuvo un consumo muy bajo en comparación (ver figura 6.10).

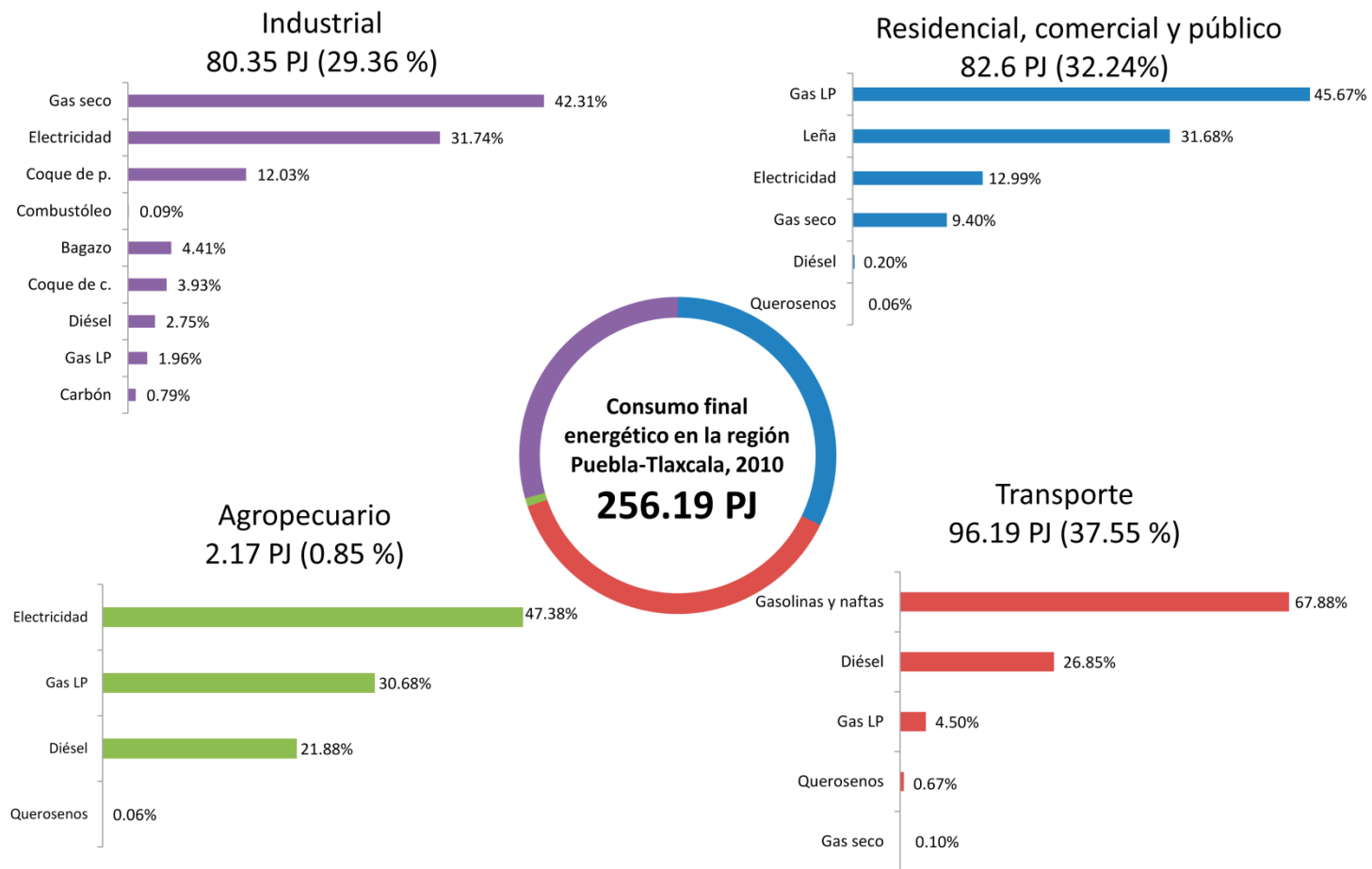


Figura 6.10. Consumo energético final por sector y su estructura porcentual.

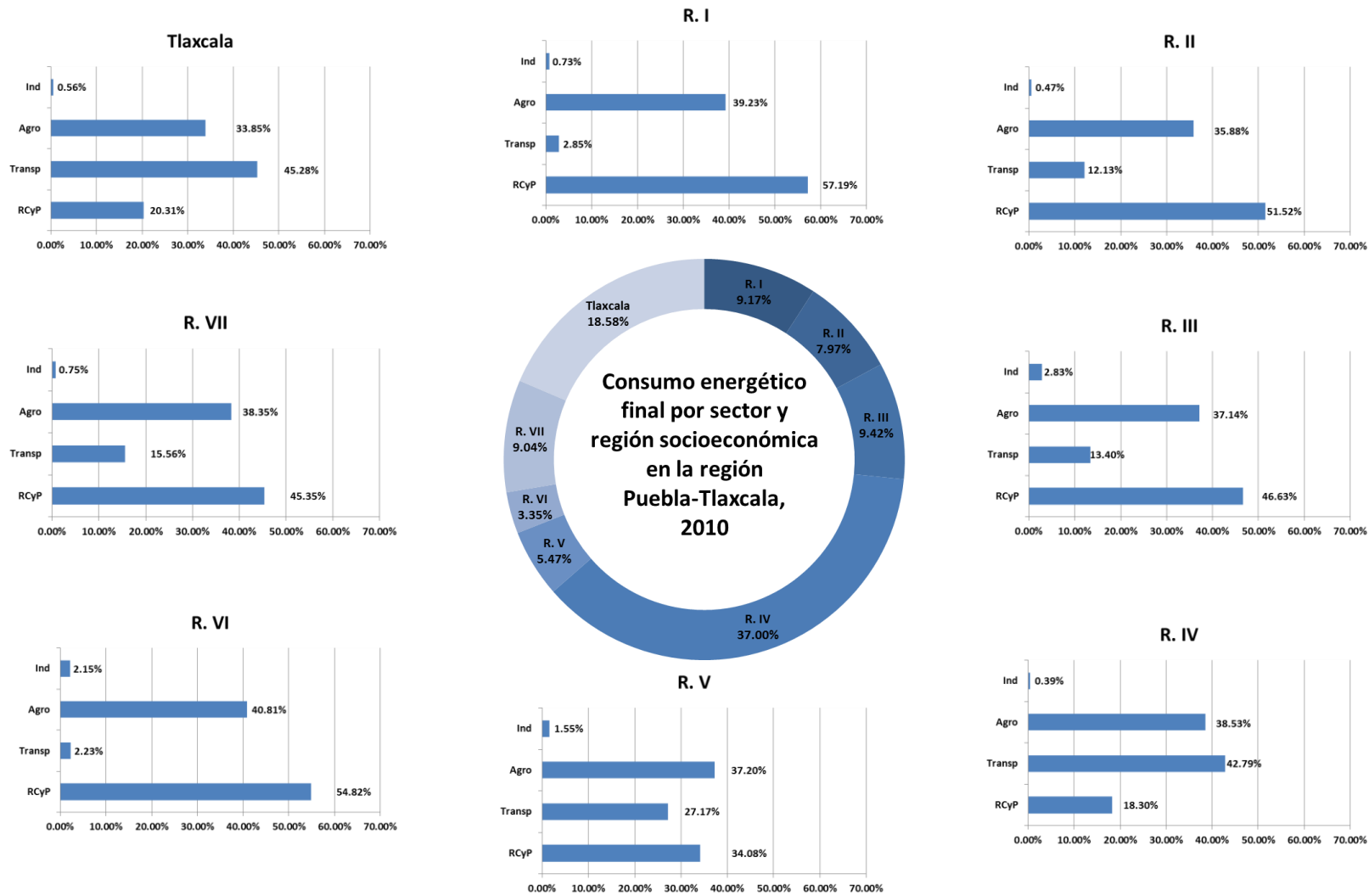


Figura 6.11. Consumo energético final por región socioeconómica y por sector en las regiones socioeconómicas.

Los energéticos más consumidos fueron gasolinas y naftas (26.33%), gas LP (17.02%), gas seco (15.50%), y electricidad (13.70%). La región con mayor consumo final fue la región IV (Angelópolis) con 37% del consumo final total regional, aún por encima del Estado de Tlaxcala con 18.58% (ver figura 6.11).

6.2 Huella de carbono

La huella de carbono regional alcanzó las 21,195 Kton CO₂eq, esto es, el 0.04% de las emisiones de GEI del sector energético mundial⁸⁷ y el 2.83% de las emisiones del sector energético nacional³⁷.

Con respecto a la huella de carbono estatal estimada para el año 2008 en el marco de la Estrategia de Mitigación y Adaptación del Estado de Puebla ante el Cambio Climático⁶, el resultado es 9.67% mayor, lo que puede deberse al incremento en el consumo energético en el estado.

Puede observarse en la figura 6.12 que la región IV posee la huella de carbono más alta, lo que puede atribuirse a su alta concentración de núcleos urbanos, la presencia de numerosos asentamientos industriales y, para 2010, 55.93% del parque vehicular existente en toda la región^{15,16}.

El GEI con mayor participación fue el CO₂ con 98.48%, seguido del CH₄ con 1.22% y el N₂O con 0.30%. Un factor a considerar en el resultado anterior es que el factor de electricidad empleado contempla las emisiones directamente en tonCO₂eq.

**Emisiones de GEI a la atmósfera por región, 2010
(kton CO₂eq)**

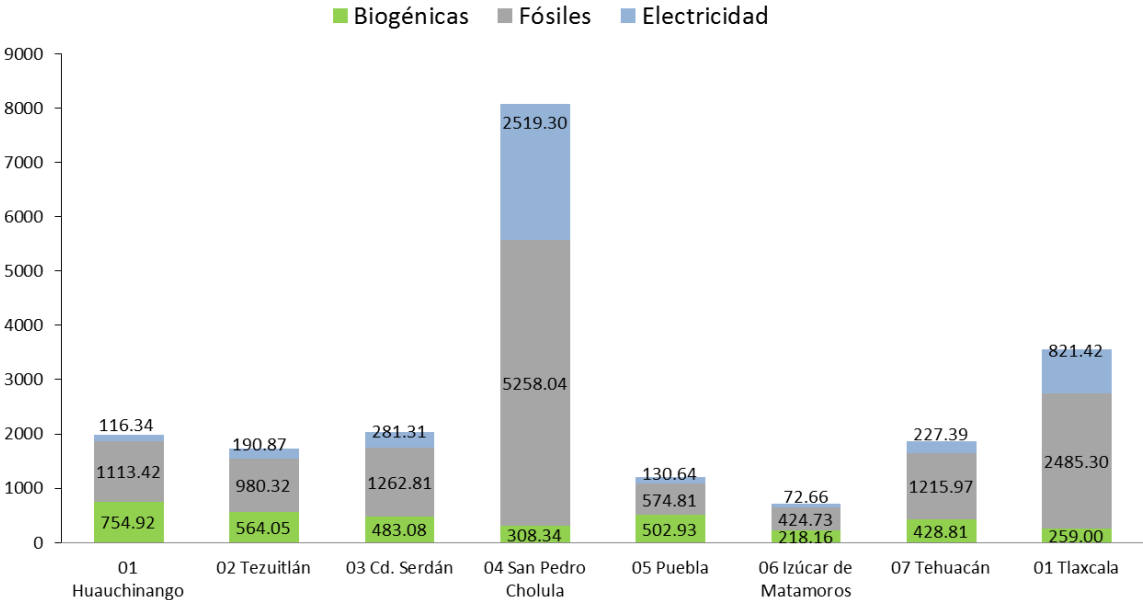


Figura 6.12. Emisiones de GEI a la atmósfera por región socioeconómica en la región Puebla-Tlaxcala, 2010.

Los energéticos que más emisiones aportaron fueron las gasolinas y naftas con 21.48%, le sigue la electricidad con 20.57%, la leña con 14.90%, gas LP con 13.17%, el gas seco con 12.10% y el diésel con 10.03%.

Los combustibles fósiles contribuyeron con la mayor parte de las emisiones (62.82%), seguido de los biogénicos (16.60%) y finalmente la electricidad (20.57%).

La mayor tasa de emisiones per cápita estuvo en la región II (3.26 tonCO₂eq) y la menor en la región VI (2.81 tonCO₂eq). En el caso de la región VI, su elevado consumo energético se distribuye entre su elevada población, por lo que el resultado es un bajo consumo per cápita.

6.3 Estimación de potenciales

Se encontró que la región Puebla-Tlaxcala cuenta con un potencial solar de 61,046 PJ y un potencial eólico de 226,591 PJ, mientras que el recurso solar es de 54.01 PJ y el eólico es de 35.43 PJ. La suma del recurso solar y eólico equivale al 30.50% del consumo total regional de 2010 (ver tabla 6.2).

Tabla 6.2. Recurso solar y eólico en la región Puebla-Tlaxcala.

PJ	Potencial solar	Recurso solar	Potencial eólico	Recurso eólico
Región	61,046.42	54.01	226,591.31	35.43
Puebla	54,645.54	47.61	202,264.31	35.43
R. Sierra Norte	9,194.62	5.89	33,886.40	0.00
R. Sierra Nororiental	4,204.66	2.57	17,017.94	0.00
R. Chalchicomula de Sesma	8,601.85	8.60	28,164.80	0.00
R. Angelópolis	5,350.06	5.35	18,254.27	0.00
R. Valle de Atlixco y Matamoros	5,168.09	5.17	23,473.04	0.00
R. Mixteca	14,604.11	14.60	55,248.40	0.00
R. Tehuacán y Sierra Negra	7,522.14	5.43	26,219.45	35.43
Tlaxcala	6,400.89	6.40	24,327.00	0.00

El recurso solar está presente en toda la región y la irradiación alcanza valores superiores al promedio nacional en casi todo el territorio contemplado, en cambio el recurso eólico se sitúa en una pequeña porción de la parte sur del estado de Puebla y es inexistente en el estado de Tlaxcala, pues el viento no alcanza valores que permitan su aprovechamiento viable técnica y económicamente.

La región VI de Puebla cuenta con mayor recurso solar (casi el 30% del total regional), y la región VII cuenta con todo el recurso eólico de la región.

El aprovechamiento de estas energías supondría una disminución significativa en las emisiones de GEI de la región, pues el recurso eólico puede sustituir la electricidad generada y consumida en la región mientras que el recurso solar puede suplir el consumo de leña y casi tres cuartas partes del consumo de gas LP, quedando así la huella de carbono con un valor de 11,917 ktonCO₂eq, esto es, un 56.23% de la huella de carbono correspondiente a 2010 (ver figura 6.13).

Emisiones de GEI con ERNC a la atmósfera por región, 2010 (kton CO₂eq)

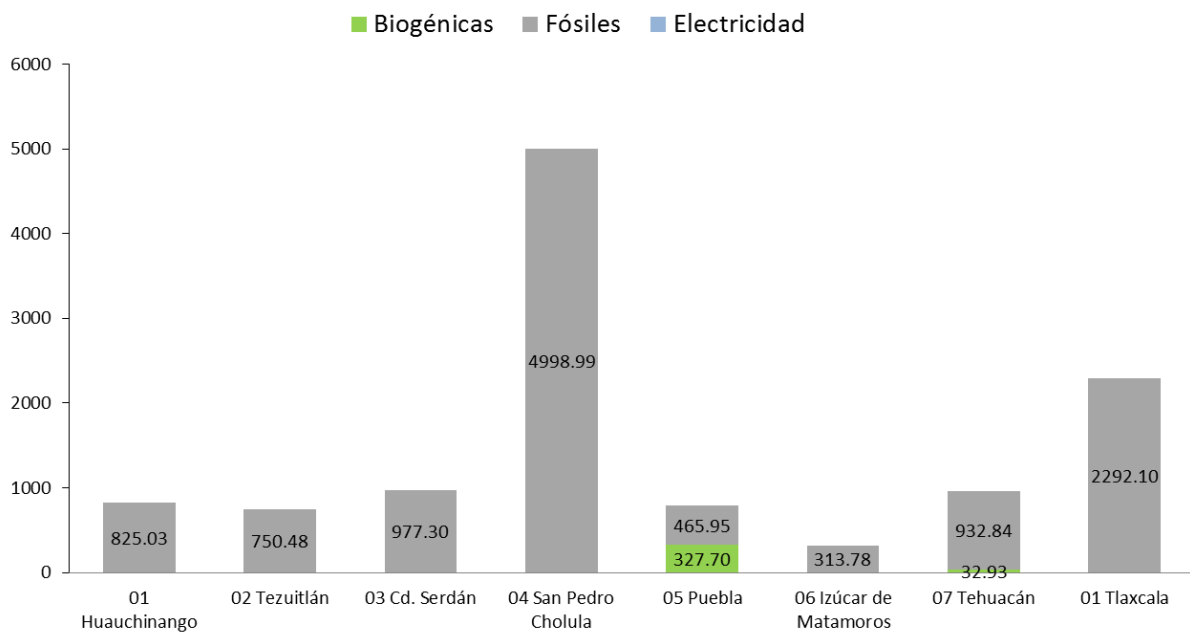


Figura 6.13. Emisiones de GEI a la atmósfera en la región Puebla-Tlaxcala por región socioeconómica durante 2010.

Conclusiones

En el presente trabajo se realizó un balance energético para la región comprendida por los estados de Puebla y Tlaxcala para el año 2010, también se estimó la huella de carbono debida al consumo energético y el potencial de los recursos solar y eólico y su impacto en la huella de carbono.

Se encontró que la producción de energía primaria en la región durante 2010 fue de 75.414 PJ, en el estado de Puebla se produjo el equivalente a 34 veces la energía primaria producida en Tlaxcala, lo que puede atribuirse parcialmente a su extensión pues ambos estados son consumidores de leña pero también al aprovechamiento de geoenergía, hidroenergía y a la extracción de petróleo crudo y gas natural asociado que se realiza en el estado de Puebla.

En lo referente a la producción de energía secundaria, en ambos estados se trata únicamente de generación eléctrica realizada por CFE y permisionarios, la primera solo cuenta con centrales en el estado de Puebla, mientras que los segundos tienen centrales en ambos estados.

La generación eléctrica de los permisionarios durante 2010 corresponde al 23.94% del total generado en la región y se trata casi exclusivamente de centrales que funcionan con energéticos fósiles (gas seco, diésel, combustóleo). En el caso de CFE, solo la central de San Lorenzo Potencia funciona con energéticos fósiles, pero genera el 53.49% del total regional.

El consumo total en la región Puebla-Tlaxcala durante 2010 fue de 293.22 PJ, es decir, casi 4 veces la energía primaria producida en la región; la región socioeconómica con mayor consumo fue la región IV (Angelópolis) de Puebla con el 37%, debido a que concentra grandes núcleos urbanos y más de la mitad del transporte motorizado de la región, así como diversos asentamientos industriales¹⁵.

La huella de carbono de la región durante 2010 ascendió a 19,112 ktonCO₂eq y se constituyó mayormente de CO₂ (98.32%), la región con mayores emisiones a la atmósfera fue la región IV (36%) y la región II tuvo la mayor tasa de emisiones per cápita con 3.09 ktonCO₂eq por habitante. Los energéticos que aportaron más emisiones fueron las gasolinas y naftas (23.82%), la leña (16.53%), el gas LP (14.61%), el gas seco (13.41%), la electricidad (11.92%) y el diésel (11.12%) debido a su alto consumo en la región.

Se encontró que los recursos solar y eólico (54.01 y 35.43 PJ, respectivamente) de la región Puebla-Tlaxcala son suficientes para cubrir el 30.50% del consumo total de la región; el recurso solar está disponible con valores mayores al promedio nacional en casi toda la región, mientras que el recurso eólico sólo puede ser

aprovechado en la parte sur del estado de Puebla, pues sólo allí alcanza velocidades que permiten su aprovechamiento viable técnica y económicamente.

En el caso de que los recursos solar y eólico se aprovecharan en la región, la generación eléctrica a partir sólo del viento lograría exceder la demanda de la región por lo que se vería en la posibilidad de exportar electricidad; el recurso solar puede cubrir la demanda de leña y casi tres cuartas partes del consumo de gas LP, lo que implicaría una reducción en la deforestación de la región.

Lo anterior permitiría la reducción de la huella de carbono de la región hasta en un 37.65% (tomando 2010 como año base), contribuyendo así a la mitigación del cambio climático y a la seguridad energética de la región.

Bibliografía

- ¹ INEGI (2012). Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2010.
- ² INEGI, México (2013). México en cifras. Recuperado el 23/01/2013. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx>.
- ³ Cosidine, Douglas M (1988). Tecnologías de la energía nuclear. México.
- ⁴ OCDE/EIA (2007). Manual de estadísticas energéticas.
- ⁵ EIA (2012). *Key World Energy Statistics 2012*.
- ⁶ SMRN(2009: Estrategia de Mitigación y Adaptación del estado de Puebla ante el Cambio Climático.
- ⁷ Jara Tirapegui, Alfredo (2006). Introducción a las Energías Renovables No Convencionales (ERNOC). Chile.
- ⁸ IPCC (2011). Fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático. Resumen para responsables de políticas y resumen técnico.
- ⁹ SEMARNAT, México (2011). Sistema de Información y Seguimiento de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SISSAO). Recuperado el 12/01/2013. Disponible en <http://sissao.semarnat.gob.mx/>
- ¹⁰ Diario Oficial de la Federación, 03/06/2013.
- ¹¹ INECC, México (2013). Avances de los Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático. Recuperado el 18/02/2013. Disponible en <http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/peacc/>
- ¹² PACMUN, México (2013). Mapa de municipios PACMUN. Recuperado el 18/02/2013. Disponible en <http://pacmun.org.mx/municipios-participantes/>
- ¹³ Ventura Rodríguez, María Teresa (2002). La industrialización en Puebla, *México, 1835-1976*.
- ¹⁴ INEGI (2011). Censo de población y vivienda 2010.
- ¹⁵ INEGI (2011) .Anuario estadístico del estado de Puebla 2011.
- ¹⁶ INEGI (2011). Anuario estadístico del estado de Tlaxcala 2011.
- ¹⁷ INAFED (2000). Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Recuperado el 17/01/2013. Disponible en <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/>
- ¹⁸ INE (2011). Guía para realizar balances energéticos estatales para la estimación de gases de efecto invernadero. Informe final.
- ¹⁹ SENER (2011). Balance Nacional de Energía 2010.
- ²⁰ SEMARNAT (2010). Síntesis de la Estrategia de Mitigación y Adaptación del Estado de Puebla ante el Cambio Climático.
- ²¹ ifu Hamburg GmbH (2013). *e!Sankey user manual*. Recuperado el 06/07/2013. Disponible en http://www.ifu.com/fileadmin/files/download/esankey/support/eSankey_User_Manual_en.pdf
- ²² SENER (2012). Prospectiva del sector eléctrico 2012-2026.

-
- ²³ Magaña Rueda, Víctor O. (2011). Cambio climático: El reto del siglo. *Investigación ambiental* 2011, 3 (1): 63-67.
- ²⁴ SEMARNAT (2013). Programa para la gestión de la calidad del aire (ProAire) Puebla 2012-2026.
- ²⁵ IPCC (2006). Directrices 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.
- ²⁶ IPCC (2007). *Fourth Assessment Report 2007*.
- ²⁷ IPCC (2011). Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático.
- ²⁸ World Resources Institute. 400 PPM: Carbon Dioxide Levels Cross a Sobering New Threshold. Recuperado el 27/05/2014. Disponible en <http://insights.wri.org/news/2012/06/400-ppm-carbon-dioxide-levels-cross-sobering-new-threshold>
- ²⁹ IEA (2013). *Redrawing the energy-climate map*.
- ³⁰ IPCC (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Summary for policy makers.
- ³¹ Anexo A del Protocolo de Kyoto.
- ³² Wackernagel, M. (1994). Ecological Footprint and Appropriated Carrying Capacity: A Tool for Planning Toward Sustainability (PDF) (PhD thesis). Vancouver, Canada: School of Community and Regional Planning. The University of British Columbia.
- ³³ Dómenech Quesada, Juan Luis (2002). Huella del carbono corporativa: una herramienta de gestión empresarial contra el cambio climático. 9° Congreso Nacional del Medio Ambiente.
- ³⁴ UK Carbon Trust (2012). *Carbon footprinting*.
- ³⁵ EPA (2006). *Life cycle assessment: Principles and practice*.
- ³⁶ Radian Corporation (1996). Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México. Volumen III – Técnicas básicas de estimación de emisiones.
- ³⁷ INECC (2012). México Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático.
- ³⁸ Programa GEI México (2013). Factor de emisión eléctrico. Recuperado el 17/04/2013. Disponible en <http://www.geimexico.org/factor.html>
- ³⁹ CNE-GTZ (2009). Las Energías Renovables No Convencionales en el Mercado Eléctrico Chileno. Recuperado el 1/5/2013. Disponible en: [en:http://www.cne.cl/cnewww/export/sites/default/05_Public_Estudios/descargas/ERN_C_mercado_electrico_chileno_baja_resolucion.pdf](http://www.cne.cl/cnewww/export/sites/default/05_Public_Estudios/descargas/ERN_C_mercado_electrico_chileno_baja_resolucion.pdf).
- ⁴⁰ Ley para el aprovechamiento de energías renovables y el financiamiento de la transición energética. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 07/06/2013.

-
- ⁴¹ The Wind power (2013). Base de datos de turbinas eólicas y parques eólicos. Recuperado el 13/06/2013. Disponible en http://www.thewindpower.net/windfarms_list_es.php
- ⁴² SENER (2012). Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026.
- ⁴³ Visita al hotel Loa Inn en Puebla, Puebla. 30/08/2012.
- ⁴⁴ CONUEE (2012). Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México. Recuperado el 02/04/2013. Disponible en http://www.procalsol.gob.mx/wb/procalsol/que_es_procalsol2
- ⁴⁵ Infonavit (2013). Hipoteca Verde (Presentación). Noveno foro de energía solar. Recuperado el 23/10/2013. Disponible en http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/ses_memoria/presentaciones/9_foro_energia_solar.pdf
- ⁴⁶ ANES (2012). Balance nacional de energía. Consultado el 03/02/2013. Disponible en http://www.anes.org/anes/index.php?option=com_wrapper&Itemid=13
- ⁴⁷ Consejería de industria, comercio y nuevas tecnologías (2003). Guía técnica de aplicación para instalaciones de energías renovables. Instalaciones fotovoltaicas. España.
- ⁴⁸ Sun, S.-S. and Sariciftci (2005). *Organic Photovoltaics, Mechanisms, Materials, and Devices*. CRC Press Taylor and Francis Group. USA.
- ⁴⁹ IEA (2011). *Renewable energy technologies. Solar energy perspectives*.
- ⁵⁰ Diario Oficial de la Federación, 8 de abril de 2010.
- ⁵¹ SENER (2012). Prospectiva de energías Renovables 2012-2026.
- ⁵² Milenio digital (12/12/2013). Huerto solar más grande de México estará en Durango. Recuperado el 17/12/2013. Disponible en http://www.milenio.com/region/Durango-huerto_solar-mas_grande-Mexico_0_206979847.html
- ⁵³ CEEA. Comunicación directa.
- ⁵⁴ CEEA, correo electrónico 09/05/2014.
- ⁵⁵ Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía- Instituto Geológico y Minero de España (2008). Manual de geotermia. España.
- ⁵⁶ REN 21 (2013). *Renewables 2012 Global Status Report 2013*.
- ⁵⁷ ESHA (2006). Guía para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica.
- ⁵⁸ SE-CONAE (1995). Estado de la situación actual de la minihidráulica nacional y potencial en una región de los Estados de Veracruz y Puebla.
- ⁵⁹ Boer, Eric P. J.; M. de Beurs, Kirsten; Hartkamp, A. Dewi (2001). *Krigging and thin plate splines for mapping climate variables*. Journal of American Agriculture, volume 3, issue 2-2001.

-
- ⁶⁰ Fu, Pinde & M. Rich, Paul (2002). *A geometric solar radiation model with applications in agriculture and forestry*. Computers and electronics in agriculture, volume 37, 25-35, 2002.
- ⁶¹ Xia, Y.; Whinterhalter, M. & Fabian, P. (2000). *Interpolation of daily global solar radiation with thin plate smoothing splines*. Theoretical and applied climatology, volume 66, 109-115, 2000.
- ⁶² U.S. Geological Survey (1988). *A Process for Evaluating Geographic Information Systems. Open-File Report 88-105*, Technology Exchange Working Group, Technical Report 1,1988 en User guide for SAGA. Cimmetry, 2007.
- ⁶³ *User guide for SAGA*. Cimmetry, 2007.
- ⁶⁴ Disponibles en:
<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/detalle2.aspx?c=2354&upc=0&s=geo&tg=999&f=2&cl=0&pf=Prod&ef=0&ct=206000000> . Recuperado el 27 de Junio de 2013.
- ⁶⁵ Disponibles en:
<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/detalle2.aspx?c=2354&upc=0&s=geo&tg=999&f=2&cl=0&pf=Prod&ef=0&ct=206000000> . Recuperado el 27 de Junio de 2013.
- ⁶⁶ Alsamamra, H. (2009). Aplicación de técnicas geoestadísticas para la obtención de mapas climáticos de Andalucía de alta resolución espacial. Tesis doctoral. Universidad de Jaén-España.
- ⁶⁷ SENER (2012). Prospectiva de petrolíferos 2012-2026.
- ⁶⁸ IFAI (2009). Sistema Infomex Gobierno Federal. Disponible en <https://www.infomex.org.mx/gobiernofederal/home.action>
- ⁶⁹ Solicitudes Infomex folios 1857500081211 y 1857500059312.
- ⁷⁰ Solicitudes Infomex folios 1800039311 y 1800033512.
- ⁷¹ Unión Nacional de Cañeros . Estadísticas de la Agroindustria de la Caña de Azúcar 2002-2011. Disponible en <http://www.caneros.org.mx/estadisticas.html>.
- ⁷² Solicitudes Infomex folios 1816400139411 y 1816400111812.
- ⁷³ CRE. Permisos de electricidad. Consultado el 02/09/2013. Disponibles en <http://www.cre.gob.mx/permisose.aspx>
- ⁷⁴ INEGI (2009).Censos económicos 2009.
- ⁷⁵ Solicitudes Infomex folios 1857600063211 y 1857700022911.
- ⁷⁶ Solicitud Infomex folio 1857600062611.
- ⁷⁷ Solicitud Infomex folio 1816400139511.
- ⁷⁸ Solicitudes Infomex folios 1857800011511 y 1857800008712.
- ⁷⁹ Solicitud Infomex folio 0908500009513.
- ⁸⁰ ASERCA (2011). Consumos anuales de diésel agropecuario 2010. Recuperado el 22/04/2013. Disponible en <http://www.aserca.gob.mx>

-
- ⁸¹ Balance energético del estado de Michoacán. Juárez Núñez, E. & D. Reyes Lastiri. Facultad de Ciencias Físico Matemáticas-BUAP, 2012.
- ⁸² CRE (1999). Licitación LIC-GAS-015-1999.
- ⁸³ Instituto de Investigaciones Eléctricas (2011). Explorador de recursos renovables. Disponible en <http://sag01.iie.org.mx:8080/geoportalEditR/catalog/main/home.page>.
- ⁸⁴ Apolonio Juárez, Marco A. Herrera, Emma Juárez, Daniel Reyes, María de la Cruz Martínez (2011). *Sustainable Energy in Puebla State, México. Praga: First world conference*.
- ⁸⁵ Archer & Jacobson (2005). *Evaluation of Global Wind Power*. Journal of Geophysical Research, Vol. 110, 2005.
- ⁸⁶ Milenio digital (11/02/2014). Grupo Salinas inaugura parque eólico en Jalisco. http://www.milenio.com/negocios/Grupo-Salinas-inaugura-parque-Jalisco_0_243575665.html
- ⁸⁷ United Nations Environment Programme (2012). *The Emissions Gap Report 2012*.