



# DETERMINACIÓN DE LA LÍNEA BASE DE CONSUMO ENERGÉTICO Y POTENCIALES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA SECTORIALES EN MÉXICO

En el contexto del Desarrollo de un Marco Político  
de Largo Plazo para la Eficiencia Energética en México.

Ciudad de México | 25 de Abril, 2016

---

**Publicado por:**

Deutsche Gesellschaft für  
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Friedrich-Ebert-Allee 36 + 40  
53113 Bonn, Deutschland  
T +49 228 44 60-0  
F +49 228 44 60-17 66

Dag-Hammarskjöld-Weg 1 - 5  
65760 Eschborn, Deutschland  
T +49 61 96 79-0  
F +49 61 96 79-11 15  
E [info@giz.de](mailto:info@giz.de)  
I [www.giz.de](http://www.giz.de)

“Programa de Energía Sustentable“

Agencia de la GIZ en México Torre Hemicor, PH Av. Insurgentes Sur No. 826 Col. Del Valle  
C.P. 03100, México D.F.  
T +52 55 5536 2344 F + 52 55 5536 2344 E [giz-mexiko@giz.de](mailto:giz-mexiko@giz.de) [www.giz.de/mexico](http://www.giz.de/mexico)

**Versión**

Septiembre de 2016

**Impresión**

Impreso en México

**Diseño**

Ana Paulina Ríos Pérez y Talia Xochitlanezi Salazar Guerrero, Ciudad de México

**Créditos fotográficos**

GIZ: página 25, 37, 56, 57, 68, 69, 76 y 77

**Texto**

Autores: José Antonio Ordonez, Prof. Dr. Wolfgang Eichhammer, Prof. Dr. Martin Pudlik, del Competence Center Energy Policy and Energy Markets del Fraunhofer ISI (Institute for Systems and Innovation Research).

Edición y Supervisión: Gabriela Reyes, Santiago Creuheras (SENER). Pedro Hernández, Juan Ignacio Navarrete, Odón de Buen (Conuee). Ana Skwierinski, Ana Delia Córdova, Ernesto Feilbogen (GIZ México). Iván Islas Cortés (Consultor Independiente).

La GIZ es responsable del contenido de la presente publicación.  
Por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania



# TABLA DE CONTENIDO

<b>Resumen ejecutivo</b>	16
<b>Introducción</b>	22
<b>1 Metodología top-down: análisis econométrico por sector</b>	26
1.1 Metodología	26
1.2 Supuestos clave	27
1.2.1 Crecimiento del PIB	27
1.2.2 Desarrollo del precio del petróleo crudo	28
1.2.3 Desarrollo demográfico	28
1.3 Estructura del modelo	29
1.4 Resultados del modelo econométrico	31
1.4.1 Escenario BAU	31
1.4.2 Análisis de sensibilidad por sector	33
<b>2 Enfoque bottom-up: análisis sectorial detallado</b>	38
2.1 Observaciones generales	38
2.2 Sector industrial	38
2.2.1 Información disponible	38
2.2.2 Metodología y estructura del modelo	40
2.2.3 Resultados	43
2.3 Sector residencial	45
2.3.1 Documentación disponible	45
2.3.2 Metodología y estructura de modelación	46
2.3.3 Resultados	48
2.4 Sector transporte	49
2.4.1 Documentación disponible	49
2.4.2 Metodología y estructura del modelo	51
2.4.3 Resultados	53
<b>3 Potenciales de eficiencia energética</b>	58
3.1 Potenciales de eficiencia energética a corto y largo plazo	58
3.2 Metodología y estructura del modelo	61
3.3 Resultados	64

<b>4</b>	<b>Recomendaciones para la recolección de datos, información energética e indicadores de eficiencia energética</b>	70
4.1	Déficits de documentación identificados	70
4.2	Indicadores de eficiencia energética	72
<b>5</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones</b>	78
5.1	Síntesis	78
5.2	Conclusiones y recomendaciones	80
	<b>Bibliografía</b>	82
<b>6</b>	<b>Anexo. Modelación top-down: Proyección econométrica por sector</b>	86
6.1	Ecuaciones econométricas	86
6.2	Sector Transporte	87
6.3	Sector Industrial	88
6.4	Sector Residencial	89
6.5	Sector Comercial	90
6.6	Sector Agropecuario	91
<b>7</b>	<b>Anexo. Modelación del sector industrial</b>	92
7.1	Supuestos económicos	92
7.2	Resultados	93
<b>8</b>	<b>Anexo. Sector transporte</b>	94
8.1	Supuestos del parque vehicular	94
8.2	Resultados	95
<b>9</b>	<b>Anexo. Sector residencial</b>	96
9.1	Supuestos económicos	96
<b>10</b>	<b>Anexo. Potenciales</b>	100
10.1	Potenciales teóricos a largo plazo	100
10.2	Potenciales teóricos a mediano plazo en un marco de políticas de eficiencia energética de alta intensidad (HPI)	102
<b>11</b>	<b>Anexo. Ejemplos exitosos de ahorro de energía</b>	106
11.1	Aluminium Norf GmbH	106
11.2	SALZGITTER FLACHSTAHL GmbH	107
11.3	Harting	109
<b>12</b>	<b>Anexo. Reseña de la experiencia alemana</b>	110

# LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Consumo energético final por sectores durante el período histórico (2000-2015) y el período de proyección (2015-2030)	18
<b>Figura 2</b>	Análisis de sensibilidad, mostrando el desarrollo del consumo final total como función del crecimiento económico futuro	18
<b>Figura 3</b>	Distribución sectorial del consumo final de energía	19
<b>Figura 4</b>	Valores históricos y proyección del PIB total en México (millones de USD 2005 PPP)	28
<b>Figura 5</b>	Precio del crudo (Brent)	28
<b>Figura 6</b>	Desarrollo demográfico en millones de personas (escala izquierda) y promedio de personas por hogar (escala derecha)	29
<b>Figura 7</b>	Estructura del modelo (izquierda) y supuestos clave y estructura de la demanda (derecha)	29
<b>Figura 8</b>	Distribución de combustibles en el sector industrial	30
<b>Figura 9</b>	Pantalla de LEAP mostrando el resultado de la procción por industrias y la implementación de la distribución de combustibles	31
<b>Figura 10</b>	Consumo final de energía por sectores	32
<b>Figura 11</b>	Distribución sectorial del consumo final de energía	32
<b>Figura 12</b>	Análisis de sensibilidad: Consumo final de energía como función de la tasa de crecimiento del PIB (izquierda en PJ, derecha como índice 2014=100%)	35

<b>Figura 13</b>	Variación de la tasa de crecimiento del PIB en LEAP	35
<b>Figura 14</b>	Valor agregado y consumo energético utilizado para determinar la intensidad energética para industria seleccionadas (2000 - 2014)	40
<b>Figura 15</b>	Metodología para la determinación de intensidades energéticas en el sector industrial	41
<b>Figura 16</b>	Estructura de modelación del sector industrial en el modelo LEAP	43
<b>Figura 17</b>	Pantalla de LEAP de la modelación <i>bottom-up</i> del sector industrial	43
<b>Figura 18</b>	Valor agregado y consumo energético entre los años 2000 y 2030 para industrias seleccionadas	44
<b>Figura 19</b>	Distribución del consumo energético en 2015 y 2030 en el sector industrial	45
<b>Figura 20</b>	Metodología de modelación en el sector residencial	46
<b>Figura 21</b>	Estructura de modelación del sector residencial en LEAP	48
<b>Figura 22</b>	Consumo total final en el sector residencial (izquierda) y consumo total promedio por hogar (derecha)	48
<b>Figura 23</b>	Consumo final de energía en el sector residencial por deciles de ingreso	49
<b>Figura 24</b>	Estructura del modelo de LEAP en el sector transporte	52
<b>Figura 25</b>	Implementación de factores de calibración utilizados para armonizar el modelo de LEAP con la demanda de gasolinas automotrices por segmento	53
<b>Figura 26</b>	Consumo final por tipo de combustible en el sector transporte	53
<b>Figura 27</b>	Desarrollo del parque vehicular asumiendo un crecimiento del PIB al 4.12% entre 2015 y 2030	54
<b>Figura 28</b>	Kilómetros recorridos por año por clase de vehículo para los periodos histórico (2000-2014) y futuro (2015-2030)	54

<b>Figura 29</b>	Ilustración de los distintos tipos de potenciales	60
<b>Figura 30</b>	Escenario BAU vs. Escenario de potenciales en un marco de políticas de eficiencia energética de alta intensidad (HPI) para los sectores industrial, residencial, comercial, autotransporte y comercial	66
<b>Figura 31</b>	Implementación de los potenciales en el modelo LEAP	67
<b>Figura 32</b>	Consumo final de energía por tipo de combustible en el sector transporte	87
<b>Figura 33</b>	Consumo final de energía por tipo de combustible en el sector industrial	88
<b>Figura 34</b>	Consumo final de energía por tipo combustible en el sector residencial	89
<b>Figura 35</b>	Consumo final de energía por tipo de combustible en el sector comercial	90
<b>Figura 36</b>	Consumo final de energía por tipo de combustible en el sector agropecuario	91
<b>Figura 37</b>	Tasas de crecimiento del PIB históricas y futuras	92
<b>Figura 38</b>	Tasas de crecimiento de las ramas del valor agregado industrial históricas	92
<b>Figura 39</b>	Valor agregado de la industria en billones de dólares de 2005 y su distribución en las industrias analizadas	93
<b>Figura 40</b>	Consumo final de energía en el sector industrial y su distribución en las ramas analizadas	93
<b>Figura 41</b>	Captura de pantalla de LEAP mostrando los factores de calibración utilizados para armonizar el modelo de LEAP con la demanda de gasolinas automotrices por segmento de acuerdo a la prospectiva de petróleos y petrolíferos de SENER	94
<b>Figura 42</b>	Distribución de demanda de gasolinas por tipo de vehículo según SENER	94



<b>Figura 43</b>	Pantalla de LEAP mostrando cómo la demanda de combustibles en el sector de autotransporte fue calibrada con la prospectiva de SENER	95
<b>Figura 44</b>	Consumo específico del parque vehicular	95
<b>Figura 45</b>	Desarrollo del coeficiente GINI desde el 2002	96
<b>Figura 46</b>	Tarifas eléctricas para el mes de junio 2006 y 2015	96
<b>Figura 47</b>	Consumo energético por decil e ingreso disponible	98
<b>Figura 48</b>	Análisis del consumo por decil relativo al promedio de todos los deciles	99
<b>Figura 49</b>	Análisis de la distribución de gas, electricidad y otros combustibles por decil	99
<b>Figura 50</b>	Eficiencia promedio del transporte de personas en México y países europeos	100
<b>Figura 51</b>	Eficiencia promedio del sector de metales primarios con base en el valor agregado para países europeos	100
<b>Figura 52</b>	Eficiencia promedio del sector de minerales no metálicos con base en el valor agregado para países europeos	101
<b>Figura 53</b>	Eficiencia promedio del sector papel para basada en valor agregado para países europeos	101
<b>Figura 54</b>	Eficiencia promedio del sector de la fabricación de equipo de transporte basada en valor agregado para países europeos	102
<b>Figura 55</b>	Potenciales en el sector residencial	102
<b>Figura 56</b>	Consumo final de energía y potenciales en el sector residencial	103
<b>Figura 57</b>	Potenciales en el sector de transporte	103
<b>Figura 58</b>	Potenciales en el sector de transporte	103

<b>Figura 59</b>	Potenciales en el sector industrial	104
<b>Figura 60</b>	Potenciales en el sector industrial	104
<b>Figura 61</b>	Impactos de medidas de eficiencia energética en Aluminium Norf GmbH	107
<b>Figura 62</b>	Impactos de medidas de eficiencia energética en Salzgitter Flachstahl GmbH	108
<b>Figura 63</b>	Impactos de las medidas de eficiencia energética en la empresa HARTING	109
<b>Figura 64</b>	Medidas de corto y largo plazo y avances del plan de acción nacional de eficiencia energética de Alemania (NAPE-GER)	112
<b>Figura 65</b>	Evolución del consumo de energía primaria por fuente	113
<b>Figura 66</b>	Flujo de energía primaria en Alemania en 2013	114



# LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Resultados de las regresiones según el método MCO para el desarrollo sectorial del consumo energético	27
<b>Tabla 2</b>	Tasas de crecimiento compuesto del consumo final de energía por sector	33
<b>Tabla 3</b>	Industrias analizadas en el sector industrial	39
<b>Tabla 4</b>	Datos disponibles y no disponibles para la modelación del sector de transporte según la Prospectiva de Petróleo Crudo y Petrolíferos 2015-2029 de SENER	50
<b>Tabla 5</b>	Potenciales en un marco de políticas de eficiencia energética de alta intensidad (HPI)	64
<b>Tabla 6</b>	Información disponible para la modelación	70
<b>Tabla 7</b>	Indicadores energéticos en México	72
<b>Tabla 8</b>	Parámetros de la modelación econométrica	86
<b>Tabla 9</b>	Consumo final de energía por tipo de combustible en el sector transporte	87
<b>Tabla 10</b>	Consumo final de energía por tipo de combustible en el sector industrial	88
<b>Tabla 11</b>	Consumo final de energía por tipo de combustible en el sector residencial	89
<b>Tabla 12</b>	Consumo final de energía por tipo de combustible en el sector comercial	90
<b>Tabla 13</b>	Consumo final de energía por tipo de combustible en el sector agropecuario	91
<b>Tabla 14</b>	Programas con efecto de ahorro de energía eléctrica en el sector residencial	98



# LISTA DE ABREVIACIONES

<b>BAU</b>	<i>Business as usual</i> (línea base)
<b>CAARG</b>	Tasa anual promedio de crecimiento compuesto (Por sus siglas en inglés)
<b>CFE</b>	Comisión Federal de Electricidad.
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>CONAPO</b>	Consejo Nacional de Población
<b>Conuee</b>	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
<b>ENIGH</b>	Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de Hogares
<b>GDP</b>	Producto interno bruto (por sus siglas en inglés)
<b>GDP 2005 USD</b>	Producto interno bruto a dólares constantes del 2005
<b>LGDP</b>	Logaritmo natural del PIB
<b>HPI</b>	<i>High policy intensity</i> (Políticas de alta intensidad)
<b>IEA</b>	International Energy Agency - Agencia Internacional de Energía
<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
<b>km</b>	Kilómetros
<b>LEAP</b>	Long-range energy alternatives planning system
<b>MCO</b>	Mínimos cuadrados ordinarios
<b>NOMs</b>	Normas Oficiales Mexicanas
<b>ODEX</b>	<i>Odyssee efficiency index</i> (Índice de eficiencia de Odysee)

<b>PEMEX</b>	Petróleos Mexicanos
<b>PIB</b>	Producto Interno Bruto
<b>PJ</b>	Petajoule
<b>pkm</b>	Persona-kilómetro
<b>POIL</b>	Precio del crudo
<b>PPP</b>	Paridad de poder adquisitivo
<b>PRODESEN</b>	Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional
<b>R<sup>2</sup></b>	Coefficiente de determinación
<b>RES-E</b>	<i>Renewable energy – electricity</i> (Energía renovable – electricidad)
<b>RES-H</b>	<i>Renewable energy – heat</i> (Energía renovable – calor)
<b>SENER</b>	Secretaría de Energía
<b>SIE</b>	Sistema de información energética
<b>TMACC</b>	Tasa anual promedio de crecimiento compuesto
<b>SIMBAD</b>	Sistema municipal de base de datos
<b>tkm</b>	Tonelada-kilómetro
<b>toe</b>	Tonelada de petróleo equivalente
<b>ton</b>	Toneladas
<b>veh</b>	Vehículos

# RESUMEN EJECUTIVO

En el contexto del Desarrollo de un *Marco Político de Largo Plazo para la Eficiencia Energética*, la Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable en México (GIZ por sus siglas en alemán) brindó asistencia técnica para la determinación de la línea base de consumo energético a nivel nacional, así como para la estimación de potenciales sectoriales de eficiencia energética, a través de la contratación del *Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research* (Fraunhofer ISI).

Se eligió un enfoque de modelación utilizando el software LEAP (*Long-range Energy Alternatives Planning System*), para analizar el desarrollo futuro del consumo energético de los distintos sectores de demanda: industria, transporte, residencial, comercial, usos no-energéticos y agropecuario.

---

Los trabajos realizados tuvieron cuatro objetivos principales:

- 1** Determinar el desarrollo energético futuro del consumo de energía final por sector. Para ello se analizó la documentación disponible sobre el consumo energético y los ejercicios de modelación previos.
  - 2** Proveer estimaciones de potenciales de ahorro de energía por sector.
  - 3** Contribuir al fortalecimiento de las capacidades locales, presentando la metodología de modelación utilizada, la estructura del modelo, los supuestos y las expresiones empleadas para implementar los cálculos de demanda energética en LEAP.
  - 4** Proveer recomendaciones de cómo éste y futuros ejercicios de modelación tienen que ser enfocados con el fin de convertirlos en una base robusta para la toma de decisiones de política pública.
-



---

La metodología utilizada combina un enfoque econométrico tipo *top-down* con una modelación detallada por sectores tipo *bottom-up*, a fin de compensar la falta de datos y documentación necesaria para un análisis detallado completo de tipo *bottom-up*.

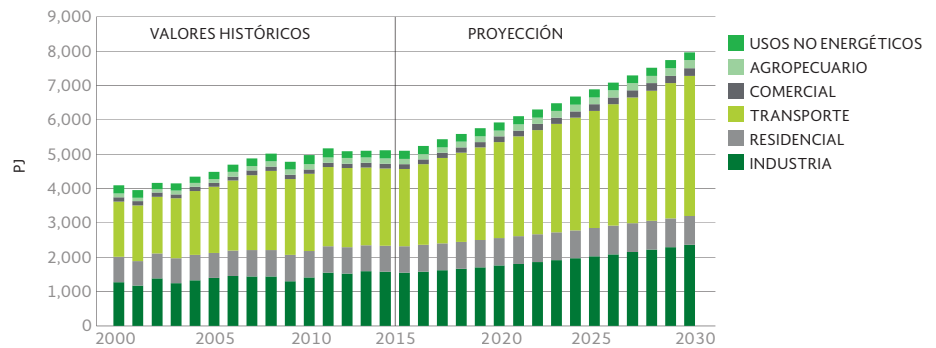
El enfoque *top-down*, presentado en el **capítulo 1** del reporte, consiste en derivar relaciones históricas entre la demanda final de energía e indicadores socioeconómicos clave. Como resultado se obtienen ecuaciones econométricas, las cuales relacionan el consumo energético total de los sectores industrial, transporte, residencial, comercial y agropecuario con el desarrollo del PIB, así como con el desarrollo del precio del petróleo crudo. Estas ecuaciones son utilizadas para pronosticar el desarrollo energético acorde al futuro crecimiento económico, al desarrollo del precio del petróleo, a las perspectivas de los Criterios Generales de Política Económica 2016 de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), y al Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) de la Secretaría de Energía (SENER). En dicho programa, se pronostica una economía en expansión, con una tasa de crecimiento compuesto de 4.12% anual de 2015 a 2029. En concordancia con esta expectativa, SENER proyecta una recuperación rápida del precio del crudo, alcanzando 80 USD por barril en 2018 y encaminándose a 120 USD por barril en 2030.

La **Figura 1** presenta el resultado de esta proyección econométrica, utilizando valores históricos de SENER para el periodo 2000 – 2015, y la proyección calculada en el enfoque *top-down*. La relación intrínseca entre el crecimiento económico y la demanda energética final se vuelve visible: la figura muestra un incremento marcado en la demanda energética hasta la crisis financiera mundial y la consiguiente crisis económica en 2008, un desarrollo constante después de la crisis, seguido de un considerable incremento en la demanda energética futura en concordancia con el crecimiento económico previsto según el PRODESEN.

Asimismo, se vuelve visible que el sector transporte es el que tiene la mayor contribución a la demanda energética total (44% en 2014, 52% en 2030), así como la tasa de crecimiento compuesto más alta de todos los sectores (4% por año en el periodo de proyección). Le sigue el sector industrial con un 31% de la demanda total en 2014, 30% en 2030, y una tasa de crecimiento del 2.8% por año.

**Figura 1:**  
Consumo energético final por sectores durante el período histórico (2000-2015) y el período de proyección (2015-2030)

Fuente: SENER, 2015 (valores históricos), proyección propia (valores futuros).



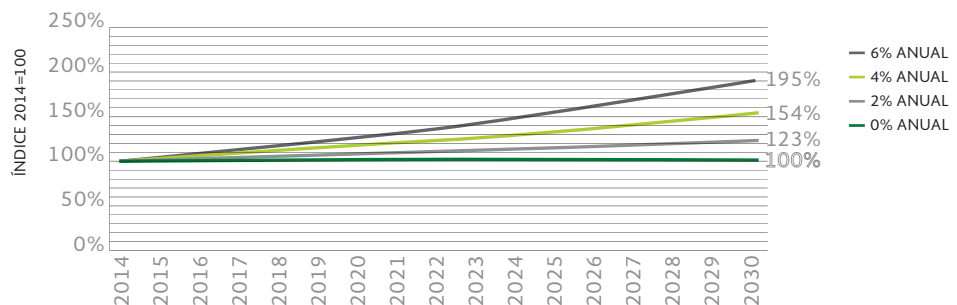
Debido a la incertidumbre de los supuestos clave: el futuro crecimiento económico, y el desarrollo del precio del crudo, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad. Este permite analizar y entender las repercusiones de los supuestos clave en los resultados de la modelación. Todos los demás parámetros se dejaron inalterados, mientras la tasa de crecimiento del PIB se estableció en los valores 0%, 2%, 4% y 6%. Lo anterior, se debe a que se reconoce como optimista el crecimiento oficial de dicha variable.

La **Figura 2** muestra el desarrollo del consumo energético final total del 2014 al 2030 como una función de diferentes tasas de crecimiento del PIB. Este valor del consumo energético final es obtenido al agregar la demanda energética determinada por las ecuaciones econométricas sectoriales.

Mientras que, tanto la ausencia de crecimiento económico como un precio constante del petróleo implican que no hay cambio en el consumo energético con relación al valor de 2014, una tasa del 2% (aproximadamente en concordancia con el crecimiento histórico observado de 2000-2015, razón por la cual podría considerarse como un desarrollo futuro más realista) muestra que la demanda energética crecería únicamente en un 23% en 2030, equivalente a un total de aproximadamente 6000 PJ.

**Figura 2:**  
Análisis de sensibilidad, mostrando el desarrollo del consumo final total como función del crecimiento económico futuro

Fuente: elaboración propia.



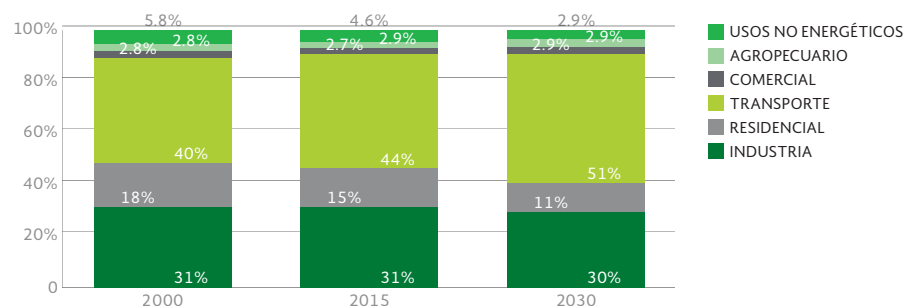
Además del enfoque econométrico, los sectores residencial, industrial y transporte fueron modelados desde una perspectiva *bottom-up*, lo cual permitió analizar la estructura y las causas del consumo energético con un mayor nivel de detalle. Los resultados de este modelo *bottom-up* se presentan en el **capítulo 2** del reporte.

La **Figura 3** muestra que cada sector presenta un desarrollo particular:

- **Sector industrial.** El análisis del sector industrial se enfoca en las ramas energo intensivas (como hierro y acero, vidrio, cemento, etc.) determinando el desarrollo de la intensidad energética histórica y futura con base en el valor agregado de dichas ramas. El desarrollo futuro muestra que la estructura del consumo de energía del sector no cambiaría substancialmente hacia el final del periodo de proyección en 2030.
- **Sector residencial.** El sector residencial está caracterizado por un crecimiento muy lento en la demanda energética final durante el periodo histórico (2000-2014), mientras que el número de hogares ha mostrado un incremento más rápido. Esto implica una tendencia a la baja en el consumo promedio por hogar durante el periodo histórico, la cual continúa en el periodo de proyección. Es importante mencionar que, debido a la falta de información detallada de los consumos finales, el análisis del sector se llevó a cabo por deciles de ingreso. Dicho análisis muestra que el hogar promedio en el decil más bajo requiere el 78%, mientras que el decil más alto requiere el 150% de la energía promedio de todos los deciles.
- **Sector transporte.** El desarrollo del parque vehicular en el pasado ha mostrado un incremento considerable en el número de vehículos registrados, resultando en un crecimiento del parque total a una tasa de más de 6% anual (2004-2014). En concordancia con la proyección econométrica, asumiendo una economía con crecimiento fuerte, se espera que el parque vehicular siga esta tendencia de considerable incremento en el futuro. Además, se asume que la tasa de envejecimiento del parque vehicular continúa siendo muy elevada.

**Figura 3:**  
Distribución sectorial del  
consumo final de energía

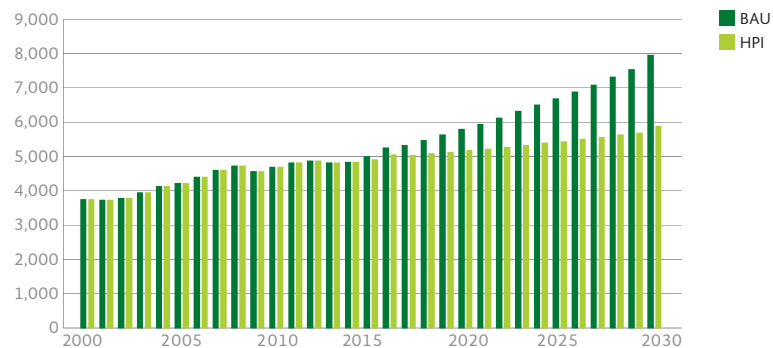
Fuente: Elaboración propia con base en datos del Sistema de Información Energética de SENER (valores históricos).



Adicionalmente, este ejercicio de modelación provee las primeras estimaciones de potenciales de ahorro por sector, los cuales son presentados en el **capítulo 3**. Este análisis está basado en un estudio detallado de potenciales de ahorro en la Unión Europea. Se seleccionaron como referencia los resultados producidos para España, por ser el país más comparable en términos de sus condiciones climáticas y su desarrollo económico (PIB per cápita). Con la finalidad de obtener una primera aproximación de la magnitud de los ahorros alcanzables en el país, se aplicaron al contexto mexicano los potenciales identificados para distintos tipos de usos finales a un nivel muy detallado (equipos y procesos para todos los sectores, como por ejemplo aparatos de uso residencial, procesos y aparatos industriales como motores eléctricos, aire comprimido, equipos de bombeo, ventilación, etc.). Es de esperarse que los potenciales existentes en México sean mayores, dado que los estándares tecnológicos en el contexto europeo son más elevados. La **Figura 4** muestra el futuro desarrollo energético, proyectando la línea base, comparándola con el caso en el cual los potenciales estimados son explotados en su totalidad. Se vuelve evidente que los potenciales de ahorro son substanciales, con un ahorro total posible de aproximadamente 25% en 2030.

**Figura 4:**  
Escenario BAU vs. Escenario de potenciales en un marco de políticas de eficiencia energética de alta intensidad ("High Policy Intensity" o HPI) para los sectores industrial, residencial, comercial, autotransporte y comercial

Fuente: Elaboración propia.



Con la finalidad de contribuir a la elaboración de modelos cada vez más robustos, este estudio provee un resumen de la documentación disponible, subrayando sus limitaciones. La disponibilidad de datos es de suma importancia para la modelación y el monitoreo de la eficiencia energética mediante indicadores. Si bien la información de consumo energético, valor agregado por sector y sub-sector, desarrollo económico y demográfico de los hogares, está muy bien documentada, existen déficits substanciales en todos los sectores. La modelación se ve confrontada con limitaciones mayores de información, entre otros, en el parque vehicular (vehículos activos, consumo específico, nivel de actividad), en el sector residencial (equipos, inventarios, tiempo de vida, horas de uso, eficiencias), para el sector comercial (área de los edificios, empleados, dispositivos de los edificios) y para la industria (actividad física de producción y caracterización de procesos).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este ejercicio de modelación en LEAP muestra la posibilidad de seguir mejorando nuestro entendimiento del desarrollo de la demanda energética histórica y futura – así como sus causas– a nivel nacional. En particular, permite analizar y visualizar la demanda energética por sectores y sub-sectores como función del crecimiento económico y del desarrollo del precio del petróleo crudo.

Asimismo, este ejercicio de modelación subraya la posibilidad de identificar y entender mejor los potenciales de ahorro de energía. En este sentido, cabe mencionar que este tipo de modelación puede proveer un fundamento firme para la toma de decisiones de política pública, pero para ello, todos los supuestos utilizados deberían ser revisados y mejorados. En particular la futura tasa de crecimiento económico muestra ser un parámetro decisivo para la modelación, afectando tanto el desarrollo de la línea base del consumo energético como los potenciales determinados en función de dicho desarrollo.

Adicionalmente, dentro de lo posible, se debería tener como meta mejorar y consolidar los estimados suministrados de los potenciales de ahorro existentes. Esto puede ser alcanzado mediante un mejor entendimiento y caracterización de los consumidores energo intensivos, lo cual puede ser logrado mediante consultas estructuradas con actores clave, como los son expertos en el campo y representantes de las ramas energo intensivas.

Finalmente, el ejercicio señala la importancia de mejorar la situación de la documentación, lo cual es relevante por dos razones. Por un lado, debido a que es fundamental para comprender el desarrollo pasado y modelar el desarrollo futuro; por otro lado, la documentación es crucial para monitorear los desarrollos de eficiencia energética, permitiendo una amplia evaluación del éxito de políticas pasadas y futuras.

En conjunto, es evidente que la demanda energética de México seguirá creciendo, mientras que existen potenciales de ahorro substanciales que pueden ser alcanzados a partir de políticas de eficiencia energética adecuadas. Estas políticas deberían ser diseñadas e implementadas tomando como base una profundización en el análisis de la estructura histórica y futura de la demanda, identificando así los potenciales más prometedores sobre los cuales se deberá incidir de manera prioritaria.

# INTRODUCCIÓN

Se eligió un enfoque de modelación utilizando el software LEAP (*Long-range Energy Alternatives Planning System*), para analizar el desarrollo futuro del consumo energético de los distintos sectores de demanda: industria, transporte, sector residencial, sector comercial, usos no-energéticos y sector agropecuario.

Los trabajos realizados tuvieron cuatro objetivos principales:

- 1 Determinar el desarrollo energético futuro del consumo de energía final por sector. Para ello se analizó la documentación disponible sobre el consumo energético y los ejercicios de modelación previos.
- 2 Proveer estimaciones de potenciales de ahorro de energía por sector.
- 3 Contribuir al fortalecimiento de las capacidades locales, presentando la metodología de modelación utilizada, la estructura del modelo, los supuestos y las expresiones empleadas para implementar los cálculos de demanda energética en LEAP.
- 4 Proveer recomendaciones de cómo éste y futuros ejercicios de modelación tienen que ser enfocados con el fin de convertirlos en una base robusta para la toma de decisiones de política pública.

En concordancia con los objetivos del proyecto, este reporte presenta no sólo los resultados del ejercicio de modelación, sino que también hace énfasis en esquematizar los supuestos, así como la estructura utilizada para determinar el futuro desarrollo del consumo energético. La metodología elegida es un aspecto central para comprender los supuestos y la estructura del modelo. Ésta combina un enfoque

**La metodología combina un enfoque econométrico de tipo top-down con una modelación detallada por sector de tipo bottom-up.**

econométrico de tipo *top-down* con una modelación detallada por sector de tipo *bottom-up*; con ello se compensa la falta de documentación y datos para un análisis detallado a nivel sub-sectorial de tipo *bottom-up*.

El enfoque *top-down* consiste en derivar las relaciones históricas entre la **demanda energética e indicadores socioeconómicos**, tales como el PIB y sus distribuciones sectoriales, el desarrollo demográfico, los precios de los combustibles fósiles, etc. Se realizó un análisis de regresión utilizando software econométrico con el fin de encontrar las relaciones matemáticas entre las variables explicativas y las variables dependientes. Mientras que los resultados más confiables son obtenidos con más probabilidad cuando el nivel de agregación entre las variables explicativas y las variables dependientes es alto, la explicación del desarrollo a nivel sub-sectorial permanece limitada (por ejemplo, la del desarrollo del combustible en un sector específico) al utilizar variables socioeconómicas fuertemente agregadas, tales como el PIB. Esta limitación en la modelación de tipo *top-down* es conocida y debe que ser compensada mediante la adaptación de un marco de modelación de tipo *bottom-up*. La modelación de tipo *bottom-up* examina el sistema energético al enfocarse en la descripción tecnológica de los procesos, aparatos y dispositivos involucrados, describiendo sus respectivos parámetros relevantes, como las intensidades energéticas y los niveles de actividad. En consecuencia, este enfoque es más apto para describir los desarrollos a un nivel desagregado y sub-sectorial, pero requiere documentación histórica<sup>1</sup> detallada sobre las tecnologías empleadas en los respectivos sistemas energéticos, además de una serie de supuestos acerca de su futuro desarrollo.

El siguiente reporte está estructurado en cinco capítulos y diversos anexos.

---

El **Capítulo 1** presenta los resultados de modelación econométrica tipo *top-down*, con sus respectivos supuestos clave, sus métodos y resultados.

En el **Capítulo 2** se muestran los análisis de tipo *bottom-up* para cada uno de los sectores estudiados en detalle (transporte, industrial, residencial), tanto como los datos y documentación, los supuestos utilizados y la estructura de la modelación.

El **Capítulo 3** presenta el análisis de potenciales de ahorro de energía existentes por sector, los cuales fueron derivados del contexto europeo, al igual que la estructura de la modelación.

El **Capítulo 4** sintetiza las limitaciones de documentación y datos identificadas durante este ejercicio de modelación. Adicionalmente, contiene una sección presentando indicadores energéticos sectoriales que pueden ser utilizados para monitorear el desarrollo de la eficiencia energética.

Finalmente, el **Capítulo 5** presenta las conclusiones y recomendaciones del reporte.

**Cada capítulo va acompañado de un anexo**, y se ha incluido un anexo adicional en el cual se presenta una introducción a la regulación de eficiencia energética en Alemania.

---

1 En particular, series de tiempo.



**CAPÍTULO 1**  
METODOLOGÍA  
*TOP-DOWN*:  
ANÁLISIS  
ECONOMÉTRICO  
POR SECTOR







# METODOLOGÍA *TOP-DOWN*: ANÁLISIS ECONOMÉTRICO POR SECTOR

## 1.1 METODOLOGÍA

El método econométrico *top-down* consiste en derivar la relación histórica entre la demanda energética e indicadores socioeconómicos, como el PIB y sus distribuciones sectoriales, el desarrollo de la población, la tasa de urbanización, los precios de los combustibles fósiles, etc. Un análisis de regresión fue aplicado utilizando software econométrico con el fin de estimar una ecuación de demanda energética por sector. A pesar de que las series de tiempo son cortas (1990-2014 o 24 observaciones), existe una relación intrínseca entre el consumo de energía y el crecimiento económico. Esto se debe a que la energía es usada en todos los sectores de la economía como parte del proceso de producción, bien sea de forma directa o indirecta.

Se utilizó el software Microfit para determinar las relaciones matemáticas entre los indicadores socioeconómicos y el consumo de energía por sector, esto mediante el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO). El consumo final de energía por sector fue elegido como la variable a ser explicada, mientras que los indicadores socioeconómicos fueron usados como variables explicativas. La Tabla 1 da una orientación, en la sintaxis del modelo LEAP, de las funciones utilizadas. En esta tabla, la variable GDP denomina el PIB (Producto Interno Bruto, o GDP por sus siglas en inglés) total en USD constantes a precios de 2005 en paridad de poder adquisitivo (PPP); la variable LGDP se refiere al logaritmo natural (ln) del PIB; la variable POIL denomina al precio del crudo y las variables POIL1 y POIL2 se refieren al precio del crudo con un desfase temporal de uno y dos años, respectivamente. Los parámetros de los resultados de las regresiones (coeficiente de determinación  $R^2$ , nivel de significancia, T-Ratio, etc.) pueden ser contemplados en el anexo correspondiente a este capítulo.

---

**Existe una relación intrínseca entre el consumo de energía y el crecimiento económico. Esto se debe a que la energía es usada en todos los sectores de la economía como parte del proceso de producción**

---

Tabla 1: Resultados de las regresiones según el método MCO para el desarrollo sectorial del consumo energético

Fuente: Elaboración propia.

SECTOR	ECUACIÓN SECTORIAL DE DEMANDA ENERGÉTICA <sup>2</sup>
Residencial	$130.9195 * \text{Key} \backslash \text{LGDP} - 1107.0$
Comercial	$0.6609\text{E}-4 * \text{Key} \backslash \text{GDP\_2005PPP} + 31.0816$
Transporte	$4.9620 * \text{Key} \backslash \text{POIL} + 0.0010920 * \text{Key} \backslash \text{GDP\_2005PPP} + 191.8005$
Industrial	$0.5868\text{E}-3 * \text{Key} \backslash \text{GDP\_2005PPP} + 596.2381$
Agropecuario	$0.39123 * \text{POIL} + 88.1622 * \text{LGDP} - 1135.0$
Usos no energéticos <sup>3</sup>	No se encontró una relación funcional con variables socio-económicas

## 1.2 SUPUESTOS CLAVE

El desarrollo futuro del PIB y del precio del petróleo crudo son de crucial importancia dentro de la modelación *top-down*. Se ha encontrado que ambas variables tienen una fuerte relación funcional con la demanda final de energía.

### 1.2.1 CRECIMIENTO DEL PIB

El crecimiento futuro del PIB usado para este ejercicio de modelación corresponde a las perspectivas de los Criterios Generales de Política Económica (CGPE) 2016 y al pronóstico utilizado en el **Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional** (PRODESEN) de SENER, asumiendo una economía próspera que se expande a una tasa de crecimiento compuesto (CAARG, por sus siglas en inglés) de 4.12% por año<sup>4</sup>. La **Figura 4** presenta el desarrollo del PIB en USD a precios constantes de 2005 en paridad de poder adquisitivo. Los valores 2000-2014 constituyen valores históricos, mostrando una tasa de crecimiento compuesto implícita e histórica de 2.1 %. Los valores a partir de 2015 son proyectados utilizando una CAARG futura del 4.12 % y reflejan una expansión considerable de la economía, la cual casi duplica su volumen en la proyección.

<sup>2</sup> La palabra *Key* en la sintaxis de las ecuaciones sectoriales hace referencia a los supuestos clave (*Key assumptions*) en LEAP.

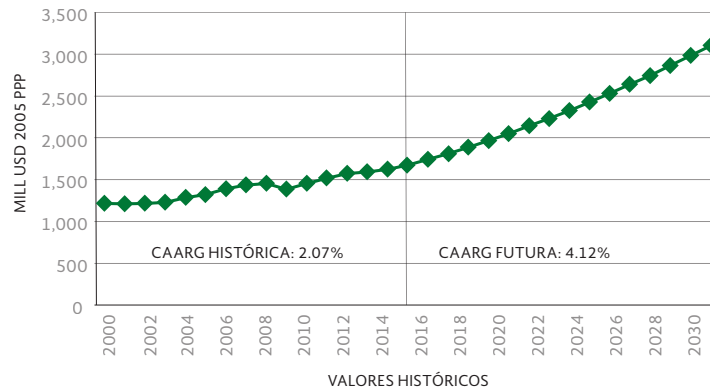
<sup>3</sup> Cabe señalar que este sector es de menor relevancia, y representa menos de 5 % del consumo total de energía final.

<sup>4</sup> Durante el período de proyección de 2015 a 2029.



**Figura 4: Valores históricos y proyección del PIB total en México (millones de USD 2005 PPP)**

Fuente: Base de datos de ENERDATA para los valores históricos, proyección propia para valores futuros

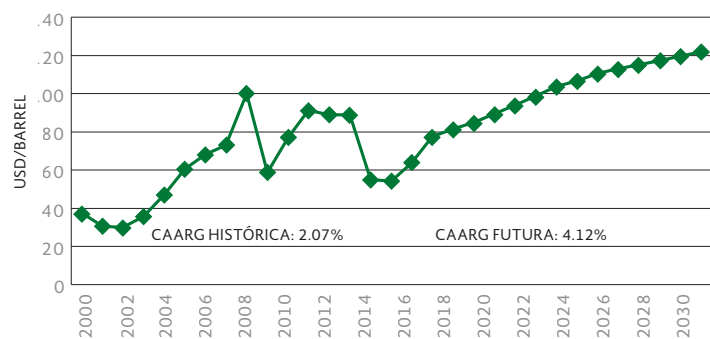


### 1.2.2 DESARROLLO DEL PRECIO DEL PETRÓLEO CRUDO

Otro parámetro crucial que determina la futura demanda energética es el precio del petróleo crudo. Para este ejercicio de modelación, el precio del crudo fue obtenido del pronóstico oficial de SENER, el cual asume una recuperación pronta de los precios, encaminada hacia la marca de 120 USD por barril en 2030. Considerando que México es un país exportador de petróleo y que PEMEX contribuye con alrededor del 5% del PIB total de México, la recuperación pronta del precio del petróleo es consistente con el supuesto mencionado anteriormente de un crecimiento considerable del PIB durante el periodo de proyección. Este supuesto se encuentra también en concordancia con el escenario denominado “*current policies scenario*” (escenario de políticas actuales) del World Energy Outlook 2015 (Perspectivas de la Energía en el Mundo - IEA, 2015), el cual muestra un precio del petróleo de aproximadamente 130 USD por barril en 2030. La **Figura 5** muestra el desarrollo del precio del petróleo tal como fue introducido en el modelo de LEAP.

**Figura 5: Precio del crudo (Brent)**

Fuente: Base de datos de ENERDATA para valores históricos y valores futuros según SENER.



### 1.2.3 DESARROLLO DEMOGRÁFICO

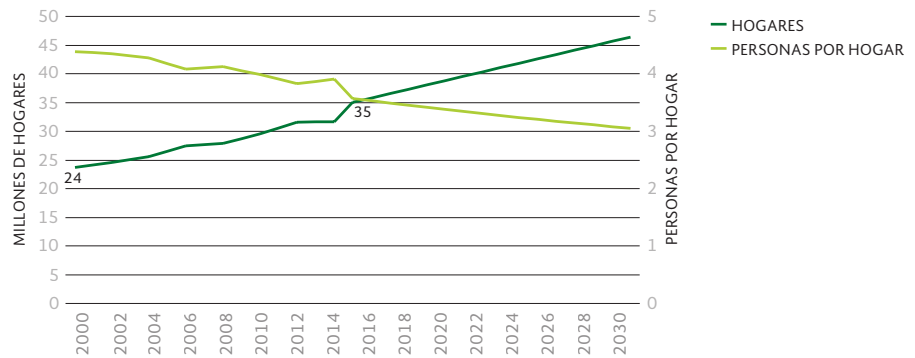
El desarrollo demográfico fue obtenido del Consejo Nacional de Población (CONAPO), el cual asume un crecimiento de la población de 0.83% por año, así como un incremento en el número de hogares del 1.9% por año<sup>5</sup>. Este crecimiento demográfico se encuentra entre los escenarios de fertilidad bajo (0.64%) y medio (0.95%) del United

<sup>5</sup> Estas tasas de crecimiento compuesto representan cálculos propios basados en la proyección de CONAPO.

Nations World Population Prospects (Prospectivas Mundiales de Población de la Organización de Naciones Unidas) de 2015. Además, se asumió que la tasa de urbanización es la tasa histórica de 1.4%, obtenida de ENERDATA (Banco Mundial, 2015). La proyección de este supuesto se presenta en la **Figura 6**.

**Figura 6: Desarrollo demográfico en millones de personas (escala izquierda) y promedio de personas por hogar (escala derecha)**

Fuente: Elaboración propia basada en CONAPO 2016.

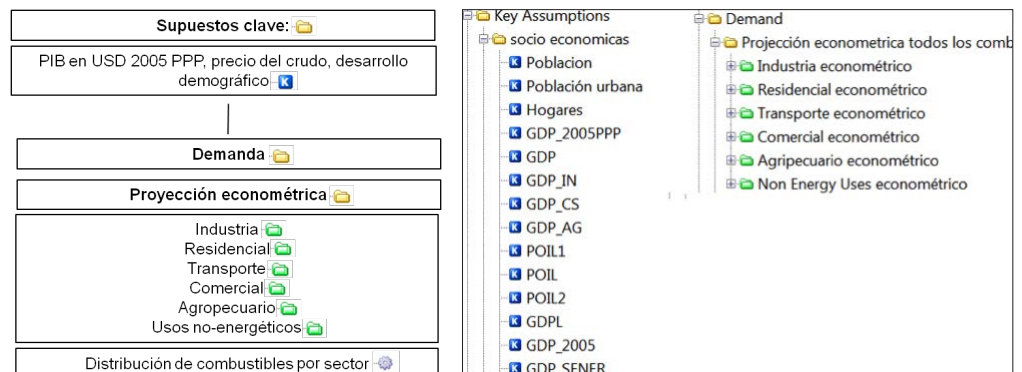


### 1.3 ESTRUCTURA DEL MODELO

La proyección econométrica tipo *top-down* es realizada en el modelo LEAP con valores en el registro “*supuestos clave*” y en el registro “*demanda*”. El registro de los supuestos clave llamado “*socioeconómico*”, contiene las variables explicativas, incluyendo el PIB en USD 2005 PPP, el precio del petróleo crudo (POIL) en USD por barril, el desarrollo de la población (población), y el número de viviendas, entre otras, como lo muestra la parte derecha de la **Figura 7**. Dentro de los supuestos clave también se pueden encontrar algunas transformaciones y series desfasadas en el tiempo, por ejemplo del PIB y el precio del petróleo; LGDP representa el logaritmo natural del PIB (implementado usando la expresión  $\ln(GDP)$ ) y POIL1 y POIL2 representan respectivamente un desfase temporal del precio del petróleo de 1 año y de 2 años (implementado usando la expresión *prevearvalue*).

**Figura 7: Estructura del modelo (izquierda) y supuestos clave y estructura de la demanda (derecha)**

Fuente: Ilustración propia.

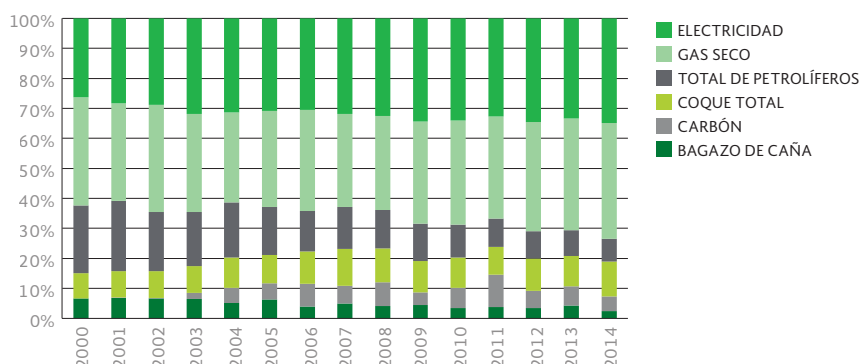


Las ecuaciones econométricas, las cuales fueron calculadas utilizando datos históricos de 1990 a 2014 con el software Microfit, son implementadas en el registro “*proyección econométrica*” como una categoría con *intensidad energética final* en LEAP. Las categorías con intensidad energética (ícono verde del registro) permiten definir las distri-

buciones de los combustibles dentro de la categoría implementada. Tal y como se observa en la parte derecha de la **Figura 7**, para cada sector fue definida una categoría con una intensidad energética. Cada registro verde contiene la ecuación econométrica sectorial, definida dentro del rubro “*intensidad energética final*”, el cual es usado como un rubro de energía total al establecer “*no data*” en el rubro de “*nivel de actividad*”. Asimismo se declara la unidad Petajoules (PJ) en el rubro de la intensidad energética. Cada registro verde contiene las distribuciones de combustibles del sector observadas en el año 2014. Esto no sólo permite proyectar la demanda energética final por sector, sino que también proyecta los combustibles que son utilizados bajo la suposición de que las distribuciones de los combustibles se mantienen constantes durante el periodo proyectado. Esta suposición no es poco realista<sup>6</sup> si se examinan las distribuciones históricas. En el balance energético de SENER, se puede observar que la distribución de combustibles para cada sector ha cambiado poco en los últimos 15 años, siendo la única tendencia notoria una reducción en el uso de combustóleo, el cual es compensado por electricidad y gas seco. Cabe mencionar que el desarrollo de combustibles es de particular importancia en el sector residencial; mientras los hogares aumentan su nivel de vida, abandonan paulatinamente el uso de combustibles sólidos e incrementan el uso de electricidad y gas natural<sup>7</sup>. Por este motivo, para el sector residencial se considera un cambio en el tiempo de la distribución de combustibles<sup>8</sup>. La **Figura 8** muestra la distribución de los combustibles para el sector industrial, mostrando una distribución tendencialmente constante en el tiempo, con la excepción del combustóleo –tal como se mencionó anteriormente.

**Figura 8: Distribución de combustibles en el sector industrial**

Fuente: Base de datos del Sistema de Información Energética de SENER.



Al utilizar esta distribución de los combustibles, así como la ecuación de demanda energética sectorial, los resultados de la proyección pueden ser calculados en el modelo LEAP en el registro *demanda/proyección econométrica/sectorXY*. La **Figura 9** presenta la pantalla de LEAP, visualizando el desarrollo del consumo energético en la industria. Se puede observar que el modelo tiene especificados también los valores históricos. Adicionalmente, los resultados se pueden exportar a excel al hacer click en el botón de “*table*” y utilizar la función correspondiente.

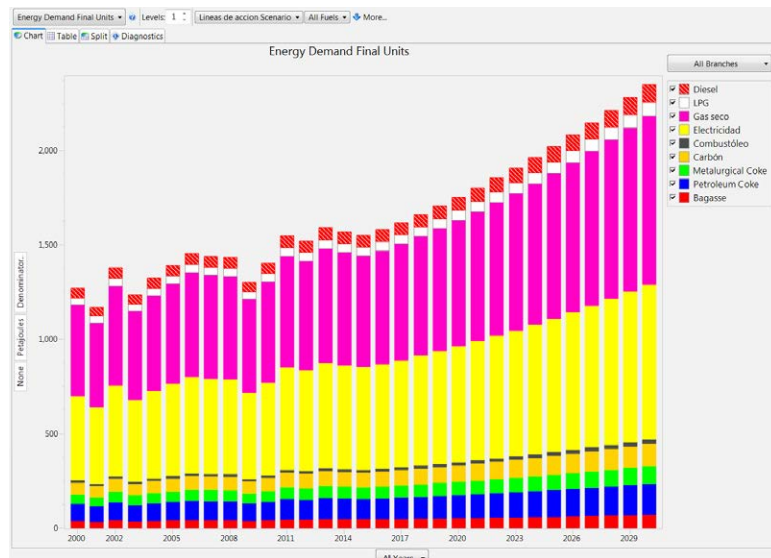
6 El cambio de este supuesto pueda implementarse fácilmente mediante el uso de la función de interpolación de LEAP y declarando el valor de 2030 (ejemplo: `interp(2014, X,2030,Y)`), mientras que uno de los combustibles debe definirse como el resto hasta el 100% (ejemplo: `interp(2014,Z,2030, remainder(100))`). Solo de esta manera, LEAP puede calcular la distribución porcentual cada año.

7 Esto es de esperarse en el escenario BAU.

8 Esto se explicará con más detalle en el siguiente capítulo, en la sección de modelización del sector residencial.

**Figura 9: Pantalla de LEAP mostrando el resultado de la proyección por industrias y la implementación de la distribución de combustibles**

Fuente: Ilustración propia.



## 1.4 RESULTADOS DEL MODELO ECONOMÉTRICO

### 1.4.1 ESCENARIO BAU

En esta sección se presentarán los resultados de la proyección econométrica. La **Figura 10** muestra tanto el desarrollo histórico (de 2000 a 2014) como el desarrollo futuro del consumo energético por sector (de 2015 a 2030)<sup>9</sup>. El consumo energético final total del año 2000 es de aproximadamente 4000 PJ. Este se incrementa hasta un valor de aproximadamente de 5000 PJ en el año 2010. Del 2008 hasta el 2014, el consumo energético se mantiene casi constante, mostrando únicamente pequeñas fluctuaciones alrededor de un valor de 5000 PJ. Esto es atribuible a la crisis financiera y la consecuente crisis económica mundial, la cual llevó a una contracción de la economía mexicana, como se señaló anteriormente en la **Figura 4**. Para el periodo de proyección, la **Figura 10** muestra un aumento considerable del consumo de energía,

---

**Del 2015 al 2030, se proyecta un aumento del consumo energético, desde 5000 PJ hasta aproximadamente 8000 PJ: una tasa de crecimiento compuesto anual de 3.02%**

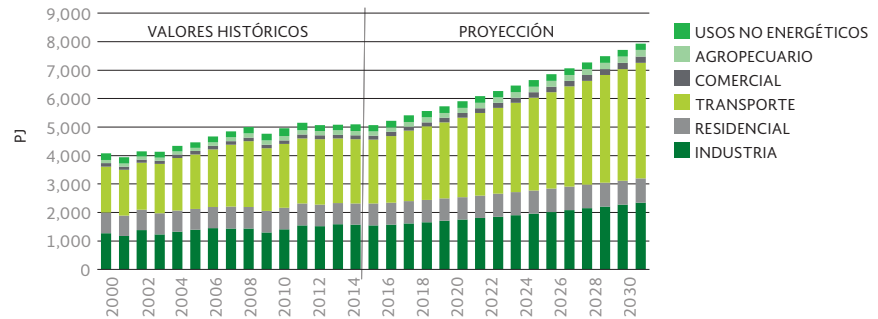
---

<sup>9</sup> Cuando se inició este ejercicio no estaban disponibles todos los datos para el año 2015, por esta razón la proyección se inicia en el año 2015.

desde 5000 PJ hasta aproximadamente 8000 PJ. Este aumento corresponde a una tasa de crecimiento compuesto anual de 3.02%, la cual puede atribuirse esencialmente a la proyección del PIB utilizada. Lo anterior se debe –como se ya se mencionó– a que el crecimiento del PIB es el causante principal del consumo energético en la proyección construida utilizando una metodología econométrica.

**Figura 10: Consumo final de energía por sectores**

Fuente: Elaboración propia basada en la base de datos del Sistema de Información Energética de SENER (valores históricos).

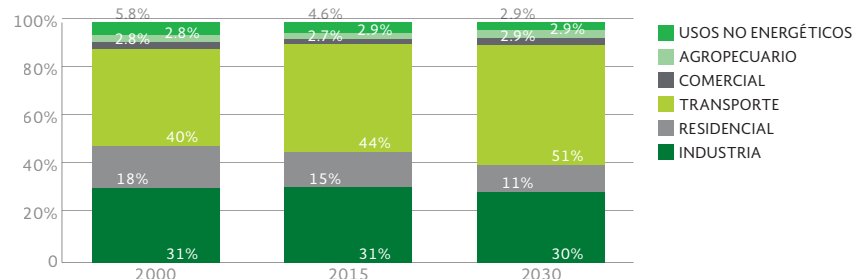


**El sector transporte es el mayor consumidor de energía. Además, presenta la tasa de crecimiento proyectada más alta.**

Es evidente que el sector transporte es el que más contribuye al consumo final de energía, y también el que presenta la mayor tasa de crecimiento durante el periodo de proyección. Esto se vuelve más notorio al analizar las distribuciones sectoriales del consumo energético final y su respectivo desarrollo temporal. La **Figura 11** muestra las distribuciones para los años 2000, 2015 y 2030. En el año 2015, el sector transporte contribuye con 44%, seguido del sector industrial con 31% y del sector residencial con 15%. Los sectores comercial, agropecuario y usos no-energéticos contribuyen conjuntamente con aproximadamente 10% del consumo final total. Al final del periodo de proyección, en el año 2030, el sector de transporte representa 51% del consumo final, mostrando un aumento de 7 puntos porcentuales en relación al año 2015. El sector industrial permanece casi intacto con 30% del consumo, mientras que el sector residencial representa el 11%, es decir, 4 puntos porcentuales menos que en el año 2015.

**Figura 11: Distribución sectorial del consumo final de energía**

Fuente: Elaboración propia basada en datos del Sistema de Información Energética de SENER (valores históricos).





## 1.4.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD POR SECTOR

El fuerte crecimiento en la futura demanda energética es atribuible a la alta tasa de crecimiento del PIB en el periodo de proyección. La **Tabla 2** muestra la tasa de crecimiento compuesta histórica, así como la tasa de crecimiento compuesto futura por sectores. Es aparente que la tasa de crecimiento del consumo final energético es considerablemente más alta en el periodo futuro que en el histórico para todos los sectores. Una excepción notable es el sector de usos no-energéticos. Esto se debe a que no se encontró ninguna ecuación econométrica confiable ni una tendencia en el desarrollo que pudiera ser extrapolada. Por ello, este ejercicio de modelación asume que la tasa de crecimiento en este sector se mantendrá inalterada.

**Tabla 2: Tasas de crecimiento compuesto del consumo final de energía por sector**

Fuente: Elaboración propia basada en la base de datos del Sistema de Información Energética de SENER (valores históricos)

	CAARG 2000-2015	CAARG 2015-2030
Sector Industrial	1.3%	2.8%
Sector Residencial	0.3%	0.7%
Sector Transporte	2.2%	4.0%
Sector Comercial	1.2%	3.4%
Sector Agropecuario	1.6%	2.9%
Sector de usos no energéticos	-0.1%	-0.1%

---

**Los sectores transporte y agropecuario dependen del crecimiento económico y del precio del petróleo, en tanto que los sectores residencial, comercial e industrial dependen sólo del PIB.**

---

Con la finalidad de analizar el impacto del supuesto más básico de la modelación, el crecimiento futuro del PIB, se efectuó un análisis de sensibilidad. En la **Tabla 1** se muestra que la demanda energética futura dentro de la modelación econométrica es determinada por ecuaciones basadas en dos parámetros clave, el crecimiento económico (PIB) y el precio del petróleo (POIL)<sup>10</sup>. Se puede observar que los sectores transporte y agropecuario dependen de ambos parámetros; mientras que los sectores residencial, comercial e industrial dependen sólo del PIB o de sus respectivas transformaciones.

10 O bien sus respectivas transformaciones logarítmicas o series desfasadas en el tiempo.

Para realizar dicho análisis de sensibilidad, la tasa de crecimiento del PIB fue variada a los valores de 0%, 2%, 4% y 6%. A diferencia del PIB, el precio del petróleo crudo se dejó constante en el valor del año 2014 (aproximadamente 50 USD por barril).

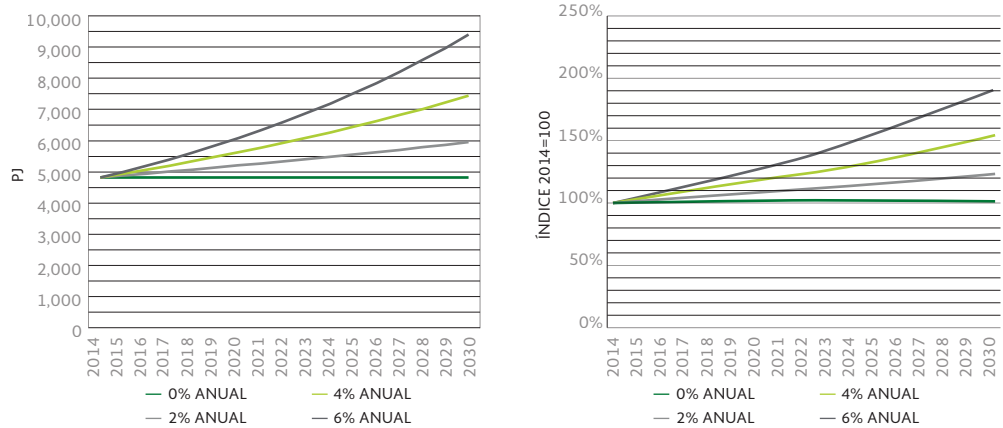
---

La **Figura 12** muestra el desarrollo del consumo total de energía del 2014 al 2030 como función de las distintas tasas de crecimiento del PIB. Estos valores de consumo energético se obtienen al agregar las demandas energéticas sectoriales, calculadas con las ecuaciones econométricas correspondientes. El consumo final de energía está expresado en PJ (figura izquierda), mientras que la figura de la derecha muestra el desarrollo del consumo energético tomando como referencia el año 2014 (índice 2014=100). En todos los casos, el consumo energético total se incrementa de forma proporcional a la tasa de crecimiento del PIB seleccionada, como se explica a continuación:

- **Tasa de crecimiento del PIB del 0%:** Dado que el PIB es un factor determinante para el incremento del consumo energético, un valor constante del PIB implica que se mantenga también constante el consumo energético, en su valor del año 2014 (4,820 PJ). Para efectos del índice, el consumo energético relativo al año 2014 se mantiene constante en un valor de 100%.
  - **Tasa de crecimiento del PIB del 2%:** Este valor corresponde aproximadamente a la tasa de crecimiento compuesto de la economía mexicana entre los años 2000 y 2014. Por lo tanto, esta variación puede entenderse como una continuación de la tendencia histórica y, en consecuencia, como un escenario más realista para el desarrollo futuro. En este caso la demanda energética crece hasta aproximadamente 6,000 PJ en el 2030. Este incremento corresponde a un crecimiento del consumo anual de alrededor de 1,100 PJ hacia el final de la proyección, dentro de 15 años. En términos del índice, este crecimiento corresponde a un valor de 123% en 2030, es decir, 23 puntos porcentuales por arriba del valor del año 2014.
  - **Tasa de crecimiento del PIB del 4%:** El consumo energético alcanza un valor de 7,436 PJ correspondiente a un incremento del 54% en comparación con el año 2014. Este valor es similar al escenario BAU, el cual crece a una tasa ligeramente más alta de 4.12% por año.
  - **Tasa de crecimiento del PIB del 6%:** El consumo final de energía alcanza aproximadamente 9,400 PJ en 2030. Esto corresponde a una expansión a casi el doble (195%) en 2030 con respecto al valor del 2014.
-

**Figura 12:**  
Análisis de sensibilidad:  
Consumo final de energía  
como función de la tasa  
de crecimiento del PIB  
(izquierda en PJ, derecha  
como índice 2014=100%)

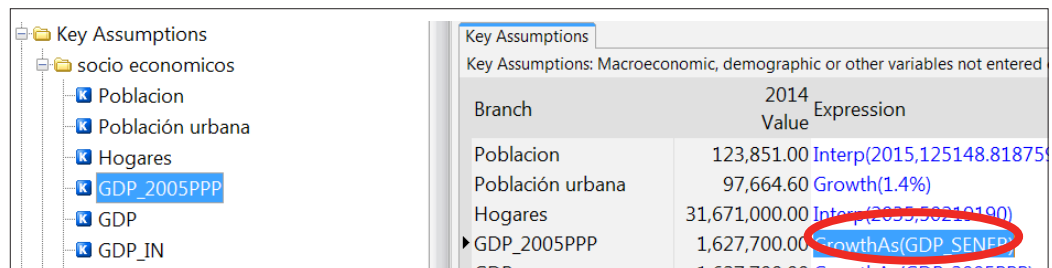
Fuente: Elaboración propia.



El procedimiento para llevar a cabo un análisis de sensibilidad en LEAP no es muy complejo. Las variaciones del PIB pueden introducirse en el registro de *supuestos clave*, empleando la función “*growth()*” para el supuesto denominado *GDP\_2005PPP*, y utilizando el valor respectivo de la tasa de crecimiento, tal y como está señalado en la **Figura 13**. Por su parte, el precio del petróleo debe ser fijado en un valor constante. Cambiando en LEAP a la pantalla de *visión de resultados*, los resultados basados en este supuesto alterado pueden analizarse en el registro denominado *proyección econométrica*, y también pueden ser exportados a Excel. Esta fue la metodología seguida para llevar a cabo este análisis. Alternativamente, es posible crear nuevos escenarios basados en el escenario BAU, los cuales utilizan las respectivas tasas de crecimiento del PIB, tal y como fueron usadas en el análisis de sensibilidad. Esto permite una comparación directa de los resultados en el ambiente LEAP.

**Figura 13:**  
Variación de la tasa de  
crecimiento del PIB en LEAP

Fuente: Elaboración propia.





# CAPÍTULO 2

ENFOQUE *BOTTOM-UP*:  
ANÁLISIS SECTORIAL  
DETALLADO







# ENFOQUE *BOTTOM-UP*: ANÁLISIS SECTORIAL DETALLADO

## 2.1 OBSERVACIONES GENERALES

Esta sección incluye los resultados de modelación para el análisis detallado de los sectores residencial, industrial y transporte. La falta de documentación para los sectores comercial, agropecuario y de usos no-energéticos limita la posibilidad de realizar una modelación detallada para dichos sectores. En las siguientes sub-secciones se presenta la documentación disponible para los sectores modelados, la metodología y supuestos del modelo, y los resultados del ejercicio.

## 2.2 SECTOR INDUSTRIAL

### 2.2.1 INFORMACIÓN DISPONIBLE

Para el sector industrial, la modelación sub-sectorial se enfocó en determinar y proyectar la intensidad energética para las ramas especificadas en el balance de energía industrial de SENER. La intensidad energética fue determinada con base en el valor agregado, dada la falta de documentación de la producción física para la mayoría de las ramas analizadas, como se puede ver en la parte derecha de la **Tabla 3**. En general, el factor limitante para una modelación del sector industrial más detallada sigue siendo la documentación detallada para las ramas energo intensivas, en particular la actividad de producción física y el tipo de procesos existentes (por ejemplo, para la producción de acero, proceso por medio del horno de oxígeno básico vs. horno de arco eléctrico, para la industria química el tipo de productos, etc.). La relación entre el consumo de energía y el valor agregado se determinó por medio de una regresión lineal. Dicha relación fue utilizada para pronosticar el desarrollo futuro (en la siguiente sección se explica a detalle la metodología utilizada). La columna izquierda de la **Tabla 3** provee un resumen de las ramas analizadas. El valor agregado por sub-sector se tomó de la base de datos del Banco de Información Económica de INEGI<sup>11</sup>, en particular de las cuentas nacionales.<sup>12</sup> El lado derecho de la **Tabla 3** mues-

11 Dicha base de datos puede consultarse en la siguiente liga:  
<http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/?idserPadre=10200026001000500050>

Para este ejercicio se consultó la información contenida en la ruta siguiente: Cuentas nacionales, Producto interno bruto trimestral, base 2008, Valores a precios de 2008.

12 Los datos del valor agregado fueron extraídos en millones de pesos del 2008, ajustados a pesos de 2005 y convertidos a USD de acuerdo al tipo de cambio de 2005.

tra las categorías del valor agregado incluyendo el número de clasificación industrial de acuerdo al **Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) 2013**, el cual es utilizado por el INEGI para preparar las estadísticas nacionales. Es importante subrayar que las categorías del Balance Nacional de Energía (SENER, 2014) no necesariamente corresponden con las categorías consideradas en el SCIAN y, en consecuencia, es inevitable un cierto grado de incertidumbre en el modelo.

**Tabla 3:**  
Industrias analizadas  
en el sector industrial

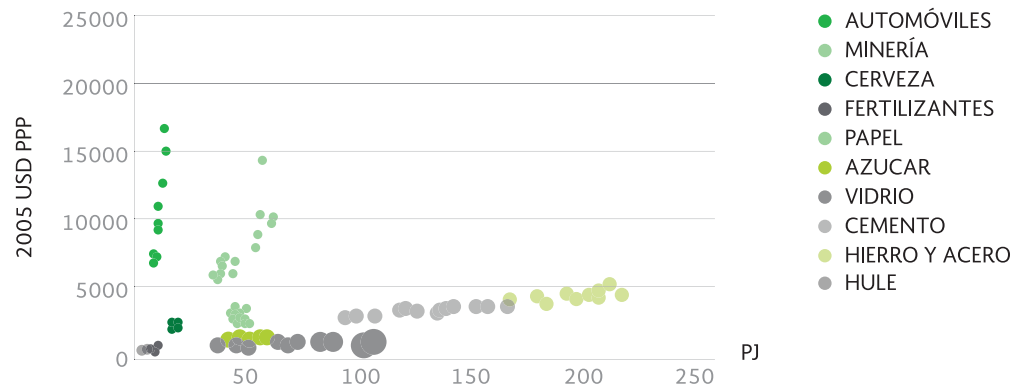
Fuente: elaboración propia.

BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA, SENER	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN INDUSTRIAL DE AMÉRICA DEL NORTE 2013
Industria básica del hierro y el acero	3311 Industria básica del hierro y del acero
Química	325 Industria química
Elaboración de azúcares	311311 Elaboración de azúcar de caña
PEMEX Petroquímica	324 Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón
Fabricación de cemento y productos a base de cemento en plantas integradas	3273 Fabricación de cemento y productos de concreto
Minería de minerales metálicos y no metálicos	212 Minería de minerales metálicos y no metálicos, excluyendo petróleo y gas
Fabricación de pulpa, papel y cartón	3221 Fabricación de pulpa, papel y cartón
Fabricación de vidrio y productos de vidrio	3272 Fabricación de vidrio y productos de vidrio
Fabricación de fertilizantes	3253 Fabricación de fertilizantes, pesticidas y otros agroquímicos
Fabricación de automóviles y camiones	3361 Fabricación de automóviles y camiones
Elaboración de refrescos, hielo y otras bebidas no alcohólicas, purificación y embotellado de agua	3121 Industria de las bebidas
Elaboración de cerveza	312120 Elaboración de cerveza
Construcción	23 Construcción (total del subsector)
Fabricación de productos de hule	3262 Fabricación de productos de hule
Elaboración de productos de tabaco	3122 Industria del tabaco
Otras ramas	Total de la industria menos las industrias previamente mencionadas

Los sectores donde la concordancia de las categorías no es correcta pueden estar sobre o subestimados. La documentación utilizada puede ser ilustrada al trazar el consumo energético de 2000 a 2014 en el eje horizontal y los datos de valor agregado correspondientes en el eje vertical para las categorías consideradas, como en la **Figura 14**. El tamaño de las burbujas indica la intensidad energética de la rama. Entre las ramas con menor intensidad energética se pueden encontrar la fabricación de carros y camiones y la rama de minería (excluyendo la extracción de petróleo y gas). Estas ramas crean valor agregado con su consumo energético relativamente bajo. Entre las ramas con mayor intensidad energética se encuentran la elaboración de azúcar, la manufactura de vidrio, la producción de cemento, y la fabricación de hierro y acero.

**Figura 14:**  
Valor agregado y consumo energético utilizado para determinar la intensidad energética para industria seleccionadas (2000 - 2014)

Fuente: Sistema de Información Energética de SENER para el consumo energético, Banco de Información Económica de INEGI para el valor agregado.



## 2.2.2 METODOLOGÍA Y ESTRUCTURA DEL MODELO

La metodología de modelación detallada del sector industrial es similar a la metodología de proyección de la demanda sectorial de tipo *top-down*<sup>13</sup>. Dada la notoria relación entre el consumo de energía y la producción física, el enfoque consiste en determinar la relación matemática entre estas dos variables mediante la regresión lineal de tipo MCO. En el caso ideal, se contaría con la documentación de la actividad física para las ramas que son energo intensivas. Considerando que los procesos energo intensivos inevitablemente requieren un monto de energía específico por unidad física, el cálculo de la relación entre el consumo de energía y la actividad física es evidente. En ausencia de datos de producción física, el valor agregado fue utilizado como una aproximación<sup>14</sup>. Mientras que el valor agregado generado en una cierta rama podría estar sujeto a fluctuaciones independientes a las de actividad física, este procedimiento tiene el beneficio que existen datos públicamente disponibles para el período 2000 a 2014.

<sup>13</sup> Presentada en el capítulo 1.


<sup>14</sup> Con la desventaja que el valor agregado es influenciado por fluctuaciones de parámetros económicos tales como variaciones del mercado global que se transmiten en la reducción o el incremento de precios



La metodología empleada puede dividirse conceptualmente en cuatro pasos, como se muestra a continuación en la **Figura 15**:

**Figura 15:**  
Metodología para la determinación de intensidades energéticas en el sector industrial

Fuente: Elaboración propia.



PASO 1	PASO 2	PASO 3	PASO 4
<p>La ecuación econométrica determina la relación entre el consumo de la energía (CE) y el correspondiente valor agregado (PIB), lo anterior con base en valores históricos.</p> $CE=(a+b*PIB)$	<p>El crecimiento del valor agregado industrial se determina distribuyendo el PIB futuro total (suponiendo un crecimiento del 4.12%) de acuerdo a la proporción correspondiente al sector industrial.</p>	<p>El valor agregado del sector industrial, determinado en el paso anterior, es distribuido entre las ramas analizadas e ingresando en el rubro "activity level" en LEAP.</p>	<p>La intensidad energética se determina dividiendo el consumo de energía -determinado por la ecuación econométrica- entre el valor agregado:</p> $IE=(a+b*PIB)/(PIB)$ <p>Esta expresión es introducida en el rubro "energy intensity" de LEAP.</p>

- **Como primer paso**, con base en la documentación histórica sobre el consumo de energía (CE) y el valor agregado (PIB), se calcula una ecuación lineal con la forma: *consumo energético = a+b\*valor agregado*.
- **Como segundo paso**, se determina el crecimiento del valor agregado para el total del sector industrial. Esto se hace distribuyendo el PIB total, el cual crece a una tasa de del 4.12%, entre los sectores que añaden valor (industrial, comercial, agropecuario). Las fracciones por sector del PIB total en el 2030 se calculan de la siguiente manera: las tasas de crecimiento históricas (2000-2014) de los sectores son utilizadas para proyectar el futuro PIB (2015-2030). Usando la distribución del PIB resultante en el año 2030, las proporciones calculadas se multiplican por el PIB total en 2030 – el cual ha sido calculado utilizando el supuesto de un crecimiento del 4.12 % anual. De esta manera, se obtiene la distribución del PIB por sectores con base en la proyección del PIB de SENER. Siguiendo este procedimiento, la tasa de crecimiento (CAARG) del sector industrial resulta ser de 3.4% para el periodo 2015-2030<sup>15</sup>.
- **Como tercer paso**, el desarrollo del valor agregado industrial se distribuye entre las ramas a ser analizadas. Este procedimiento sigue la misma lógica que el paso 2: utilizando las tasas de crecimiento histórico (2000-2014) de las ramas consideradas, se proyecta el valor agregado futuro para el año 2030. Con base en esta proyección se determinan las proporciones por rama en 2030. De forma análoga al paso anterior, las fracciones obtenidas son multiplicadas por el PIB industrial total, pero usando la tasa de crecimiento del valor agregado industrial del escenario BAU (3.4%). De esta manera se obtienen las respectivas tasas de crecimiento de las ramas analizadas. Este resultado puede consultarse a detalle en el anexo de la modelación industrial.

15 La comparación de las tasas de crecimiento pasadas y futuras de todos los sectores se visualizan en el anexo de la modelación industrial.

- **Como último paso**, la intensidad energética de cada rama se determina con la ayuda de la ecuación econométrica calculada en el paso 1 y el valor agregado determinado en el paso 3. Es evidente que la intensidad energética queda expresada en función del valor agregado, lo cual subraya las ventajas de esta metodología en comparación con una extrapolación simple de la tendencia histórica: la intensidad energética calculada de esta manera toma en cuenta el aumento del valor agregado, de forma consistente con el supuesto utilizado para el crecimiento del PIB. Una extrapolación de la tendencia histórica no tendría en cuenta dicho crecimiento.

---

La estructura de modelación utilizada para ingresar esta metodología al modelo de LEAP se muestra en la **Figura 16** (izquierda). Los vínculos estructurales dentro del árbol de LEAP son, por lo general, idénticos a los utilizados en la estructura de la modelación de tipo *top-down*, la cual fue descrita en el capítulo uno. El valor agregado de las ramas analizadas fue introducido en el registro de *supuestos clave / industria*. En la visualización “*current accounts*” del modelo LEAP, se puede encontrar el valor agregado histórico de acuerdo a las cuentas nacionales de INEGI. Por otra parte, en el escenario BAU del modelo LEAP, se encuentran las tasas de crecimiento futuras, derivadas de los pasos 2 y 3 descritos anteriormente. En el registro de la demanda, las ramas industriales pueden ser encontradas en el registro “*industria bottom-up*” como *categorías con intensidad energética* (registro de icono verde).

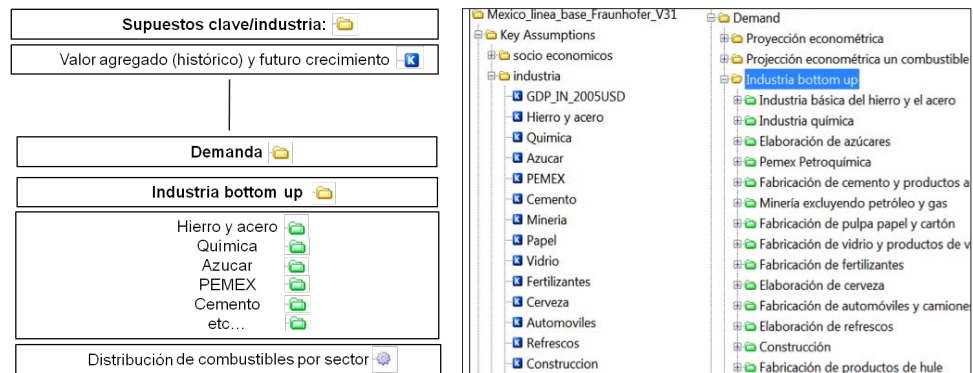
Reiteramos que las categorías con intensidad energética permiten definir las fracciones de combustible correspondientes a la categoría implementada. Nótese en la parte derecha de la **Figura 16**, que para cada rama considerada se definió una categoría con intensidad energética. Cada registro verde contiene un enlace valor agregado correspondiente y su futuro crecimiento (definido en el rubro “*nivel de actividad*”).<sup>16</sup> En el rubro “intensidad energética final”, la intensidad energética se define como la ecuación econométrica sectorial dividida por el valor agregado. Además, cada registro verde contiene la distribución de combustibles del sector en 2014. Esto permite proyectar no sólo la demanda energética final de cada sector, sino también proyectar los combustibles que están siendo utilizados si se asume que las fracciones de combustible se mantienen constantes durante el periodo de proyección. Este supuesto, de forma análoga a las proyecciones sectoriales, no es implausible: observando la distribución de combustibles en los sectores, tal y como se presentan en el balance de energía de SENER, puede verse que el consumo de combustibles a nivel sectorial muestra una distribución más bien estable durante el período histórico<sup>17</sup>.

16 Sin embargo, este rubro se define como un enlace al registro de supuestos clave / industria. Es posible especificar el valor agregado directamente en el nivel de actividad. En este caso, dado que la intensidad energética final se define como la división de la ecuación econométrica por el valor agregado correspondiente, es necesario que el valor agregado haya sido introducido dentro de los supuestos clave.

17 Mostrando una tendencia a la baja en el combustible y un incremento en el uso de gas seco y electricidad.

**Figura 16:**  
Estructura de modelación del sector industrial en el modelo LEAP

Fuente: Elaboración propia.



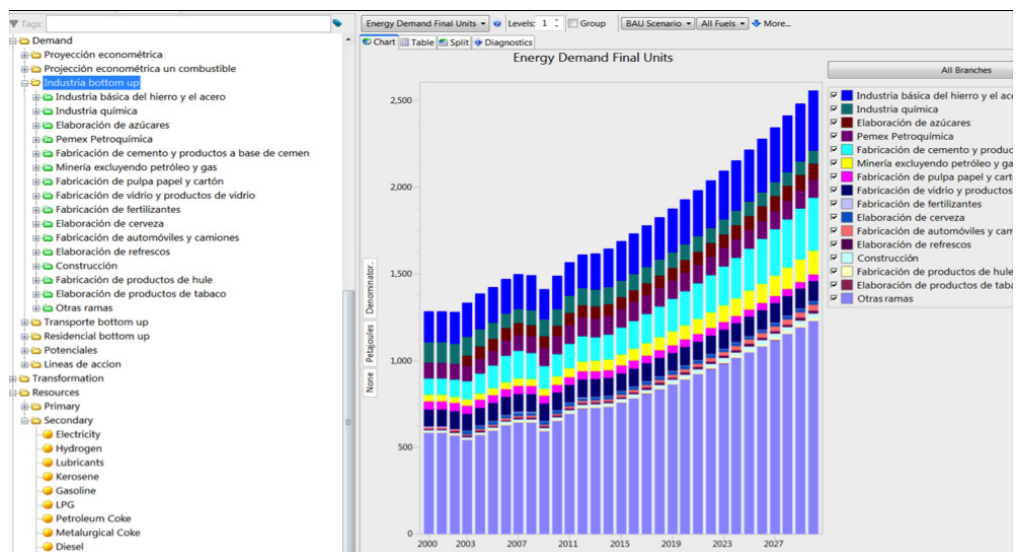
### 2.2.3 RESULTADOS

La **Figura 17** presenta una captura de pantalla de LEAP, en la que se muestra el resultado más importante dentro de la modelación *bottom-up* para este sector: el consumo energético final por ramas. Este resultado fue calculado dentro de LEAP al multiplicar el nivel de actividad definido (en este caso las ramas industriales del PIB) por su correspondiente intensidad energética final<sup>18</sup>. Cabe destacar que la modelación *bottom-up* permite analizar y visualizar como resultados todos los parámetros empleados para calcular la demanda energética, a saber:

- La intensidad energética futura de las ramas del sector.
- El futuro crecimiento económico de las ramas del sector.
- La demanda energética futura de las ramas del sector.

**Figura 17:**  
Pantalla de LEAP de la modelación *bottom-up* del sector industrial

Fuente: Elaboración propia.

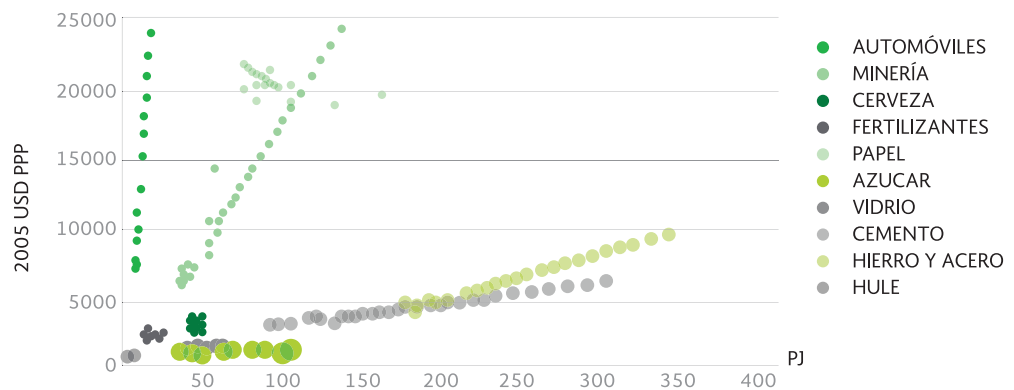


18 Dada la falta de datos para algunas ramas para los años 2000-2003, solo se incluyen resultados a partir del año 2004.

Los resultados obtenidos para este ejercicio con el modelo LEAP, son presentados en el anexo correspondiente a la modelación del sector industrial. En particular, este anexo contiene las tasas de crecimiento futuras del valor agregado para todas las ramas analizadas, así como el desarrollo del consumo energético final total y su distribución. Cabe mencionar que la modelación de tipo *bottom-up*, en el caso del sector industrial, rebasa la proyección econométrica en un 10% aproximadamente. Esta desviación es común para un periodo de 15 años, al utilizar distintas estructuras de modelación para proyectar el futuro consumo energético. Finalmente, para mostrar la plausibilidad de los resultados, la **Figura 18** presenta el valor agregado y el consumo energético final para el periodo de tiempo analizado, que va de 2000 a 2030 (en analogía con la **Figura 14**, la cual sólo incluye el periodo histórico). El fuerte crecimiento económico es visible, en particular para la manufactura de carros y camiones, cemento, hierro, acero y la rama de minería<sup>19</sup>. La plausibilidad del modelo y la consistencia con el desarrollo histórico se vuelve evidente, teniendo en cuenta las futuras tasas de crecimiento del valor agregado.

**Figura 18:**  
Valor agregado y consumo energético entre los años 2000 y 2030 para industrias seleccionadas

Fuente: INEGI valor agregado histórico, valores futuros proyección propia.



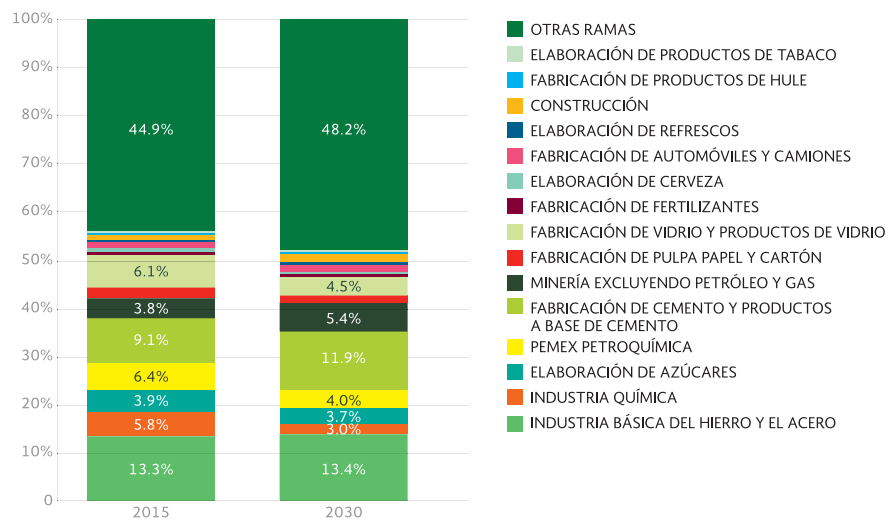
**Aproximadamente la mitad de los consumos proyectados son atribuibles a sectores como la industria básica de hierro y acero, fabricación de cemento, fabricación de vidrio, y a PEMEX.**

La **Figura 19** muestra los resultados extraídos del modelo de LEAP, presentando la distribución del consumo energético en el sector industrial. Es notorio que aproximadamente la mitad del consumo es atribuible a ramas clasificadas como grandes consumidores energéticos. Dentro de los sectores de consumo energético más destacados se encuentran, entre otros, la industria básica del hierro y acero (13.3 % en 2015 y 2030), la fabricación de cemento (9% en 2015 y 12% en 2030), PEMEX (6.4% en 2015 y 4% en 2030), y la fabricación de vidrio y productos de vidrio (6.1% en 2015 y 4.5 % en 2030).

<sup>19</sup> Minería excluyendo la extracción de petróleo y gas.

**Figura 19:**  
Distribución del consumo energético en 2015 y 2030 en el sector industrial

Fuente: Elaboración propia, con base en datos históricos de SENER.



## 2.3 SECTOR RESIDENCIAL

### 2.3.1 DOCUMENTACIÓN DISPONIBLE

Aún existen limitaciones substanciales en cuanto a la documentación y datos disponibles que deben ser superadas para lograr una modelación detallada del sector residencial. La documentación utilizada para este ejercicio de modelación puede clasificarse de la siguiente forma:

- **Información energética:** Datos sobre aparatos y dispositivos, en particular saturaciones, tiempos de vida, tiempos en uso e intensidades.
- **Información económica:** Datos sobre el ingreso por hogar, gastos por hogar, entre otros.
- **Información demográfica:** Datos referentes al desarrollo de la población, urbanización, hogares, entre otros.

En México existen diversas fuentes de información económica y demográfica. Entre las más prominentes se encuentran las proyecciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO) sobre la población y el desarrollo de los hogares. Además, existe información internacional disponible como los Pronósticos Demográficos de Naciones Unidas (*United Nations World Population Prospects 2015 Revision*) o los pronósticos del Banco Mundial. También se puede encontrar información económica a nivel de los hogares en la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH), la cual es publicada con una periodicidad de dos años. Esta encuesta contiene documentación de la estructura de gastos de los hogares por deciles de ingresos. En particular, los

gastos energéticos se encuentran agregados para todos los años a excepción del año 2006, en el cual las publicaciones contienen los gastos del gas, electricidad y otros combustibles por deciles de ingreso.

Hay fuertes limitaciones en cuanto a la disponibilidad de datos sobre aparatos y dispositivos en los hogares, incluyendo saturaciones, tiempos de vida, tiempos de uso e intensidades. Mientras que el número total de dispositivos y aparatos, tales como aire acondicionado y calentadores de agua es conocido parcialmente por la Conuee o ha sido estimado en ejercicios de modelación previos, la falta de documentación confiable, así como el desarrollo en el tiempo de estos parámetros representa el factor limitante para una modelación temporal a fondo en el sector residencial.

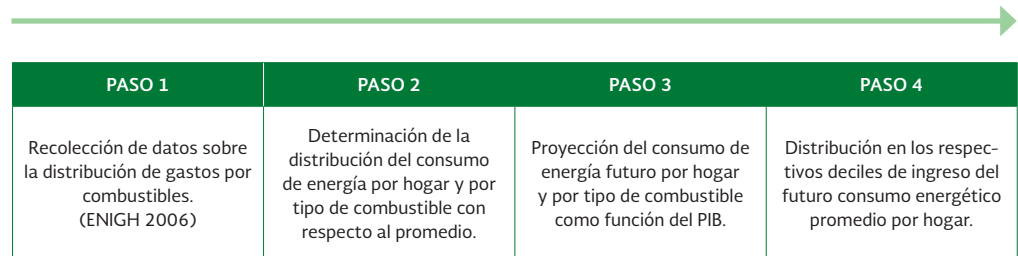
### 2.3.2 METODOLOGÍA Y ESTRUCTURA DE MODELACIÓN

La modelación de la demanda energética futura en el sector residencial es una combinación de la proyección econométrica con un análisis de gastos energéticos como una función del ingreso. De la sección anterior se desprende que el análisis realizado está parcialmente limitado por la documentación disponible.

El procedimiento metodológico puede ser dividido en cuatro pasos, como se muestra en la Figura 20.

Figura 20:  
Metodología de modelación  
en el sector residencial

Fuente: Elaboración propia.



- **Paso 1:** Se tomaron los gastos de energía por decil de ingreso de la ENIGH del año 2006, ya que para dicho año estos están desglosados por gastos en electricidad, gastos en gas y los gastos en otros combustibles.
- **Paso 2:** El consumo de electricidad, gas y otros combustibles por hogar de cada decil de ingreso fue expresado como un porcentaje del consumo promedio por hogar (promedio de todos los deciles). El supuesto implícito es que hay uniformidad en los precios para los deciles, dado que la encuesta está expresada en términos monetarios y no en consumo físico<sup>20</sup>.

<sup>20</sup> Este supuesto es válido para el gas y otros combustibles, no así para la electricidad. El sistema de tarifas eléctricas, el cual subsidia a los usuarios de bajo consumo y penaliza a los de alto consumo, supone una limitante para dicho supuesto. Dado que las tarifas y las categorías de precios varían con la temperatura promedio del verano y el mes en el que inicia el verano, un análisis para determinar la tarifa promedio por decil no puede llevarse a cabo en detalle para

- **Paso 3:** Se pronosticó el consumo promedio por hogar hasta el 2030 utilizando la proyección econométrica del futuro desarrollo energético y la proyección de CONAPO sobre el desarrollo de los hogares. Cabe mencionar que la proyección toma en cuenta las distribuciones cambiantes del consumo de combustibles para el sector residencial, es decir, la reducción del consumo de madera y el incremento en la demanda de electricidad.
- **Paso 4:** El consumo promedio pronosticado por hogar se distribuye entre los deciles, utilizando la distribución de combustibles para cada decil estimada en el paso 2<sup>21</sup>.

Implícitamente, esta metodología asume que la distribución de ingresos entre los deciles permanecerá similar en los próximos 15 años. Si se observa el desarrollo del coeficiente de GINI (indicador de la desigualdad en la distribución del ingreso, ilustrado en el anexo correspondiente a la modelación del sector residencial) en la última década, puede verse que este supuesto no es poco realista.

---

La **Figura 21** muestra la estructura del modelo del sector residencial. A la izquierda, se presenta el vínculo estructural entre los supuestos clave y las categorías de demanda energética. Los supuestos clave se encuentran en el registro “*residencial*”, el cual contiene la proyección econométrica del consumo energético futuro, el desarrollo del número de hogares, y el consumo energético final por hogar. Este consumo de energía promedio por hogar corresponde al paso 3 de la metodología y también es un parámetro importante en el registro de *demanda/residencial bottom-up/residencial por decil*. Cada *categoría con intensidad energética*, contiene, en el rubro de *nivel de actividad*, el porcentaje del nivel de saturación con respecto al consumo energético promedio por hogar como fue definido en el paso 2 de la metodología. En el rubro de *intensidad energética final*, cada categoría representa la décima parte (1/10) del total de los hogares. Esto podría parecer erróneo, ya que la intensidad energética y el nivel de actividad están invertidos en su especificación dentro del modelo. Dado que LEAP multiplica el nivel de actividad (que contiene el consumo energético por hogar) por la intensidad energética final para cada año de la serie de cálculos (la cual contiene el número de hogares por decil), la lógica del modelo funciona de todas maneras, porque el producto de ambas unidades especificadas representa la demanda total final por decil.

este ejercicio. El anexo correspondiente a la modelación del sector residencial incluye las tarifas para distintos bloques de consumo para el año 2006 y 2014, las cuales fueron utilizadas para estimar el error causado por el supuesto. A pesar de no poder calcular con exactitud la sobreestimación del consumo de electricidad para el decil más alto y la subestimación para el decil más bajo, no se espera un efecto que completamente socave el resultado presentado. Asimismo, la distribución relativa por deciles es similar a la presentada en Cruz Islas e Ignacio César, 2013, y Eduardo Rodríguez-Oreggia y Rigoberto Ariel Yepez-García, 2014.

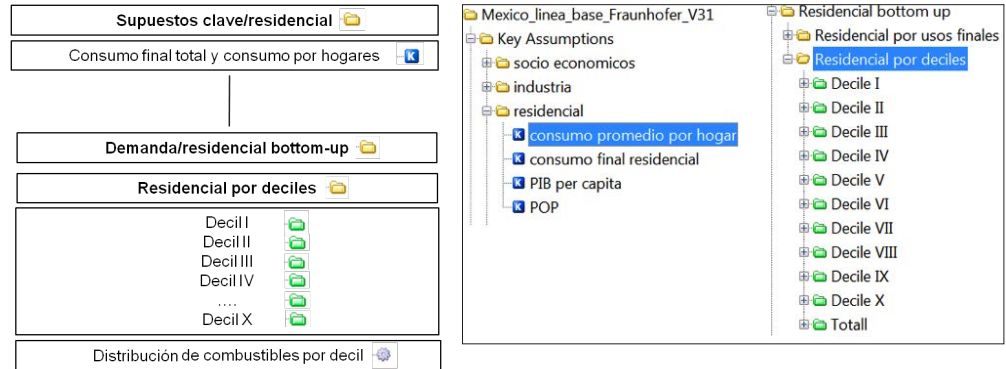
21 La leña fue distribuida en los deciles según el consumo relativo obtenido del rubro “otros combustibles” en el cuadro 5.3 de la ENIGH 2006. Por ende, se sobreestima el consumo de leña de los hogares en los deciles altos de ingreso, asimismo se subestima el consumo en los hogares en los deciles más bajos.



### 2.3.3 RESULTADOS

Figura 21:  
Estructura de modelación del sector residencial en LEAP

Fuente: Elaboración propia.



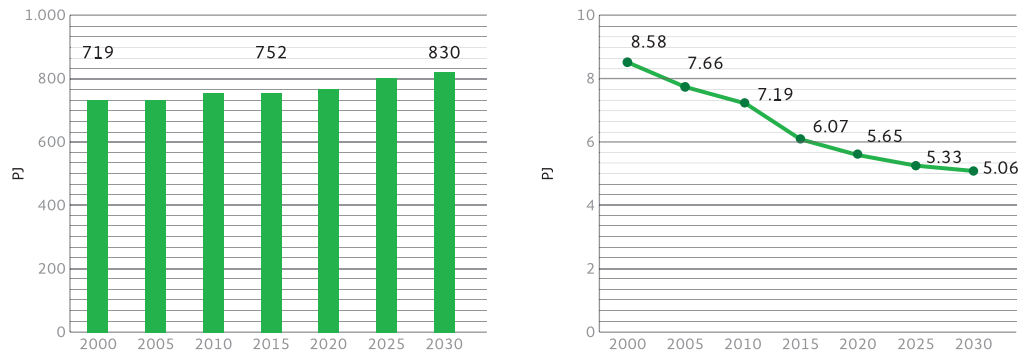
**Dada la tendencia a la baja en el consumo energético del sector, y una alta tasa de crecimiento del número de hogares, se estima que entre el 2015 y 2030, el consumo energético por hogar se reducirá en un 16.64%**

El elemento a la izquierda en la **Figura 22** muestra el consumo energético final del sector residencial calculado utilizando la ecuación econométrica. Por otro lado, la parte derecha de la **Figura 22** muestra el consumo promedio de un hogar para el periodo histórico (2000-2014) y el periodo de proyección (2015-2030). Ambas figuras fueron elaboradas con base en los valores definidos dentro del rubro *supuestos clave/ residencial* del modelo LEAP. Puede observarse que el crecimiento del consumo de energía tanto en el periodo histórico como en el periodo de proyección es muy moderado. El consumo total final incrementó desde 719 PJ en el año 2000 hasta 752 PJ en 2014, un aumento de sólo 5% en 14 años. Recordemos que, sin embargo, el número de hogares se ve incrementado significativamente en el mismo periodo, desde aproximadamente 24 millones de hogares en el año 2000 hasta 35 millones en 2015 (lo cual representa un incremento del 46%). Esto implica que el consumo promedio por hogar muestra una tendencia a la baja en los valores históricos. Se prevé que el consumo energético futuro continuará presentando un incremento moderado, creciendo desde 752 PJ a 830 PJ entre los años 2015 y 2030 (un incremento del 10%), mientras que el número de hogares seguirá creciendo a un paso acelerado. Por lo tanto, los resultados obtenidos en este ejercicio de modelación indican que el consumo promedio por hogar seguirá disminuyendo. En 2030, el pronóstico muestra un consumo promedio de 5.6 MWh por hogar.



**Figura 22:**  
Consumo total final en el sector residencial (izquierda) y consumo total promedio por hogar (derecha)

Fuente: Elaboración propia con base en el Sistema de Información Energética de SENER (valores históricos) y CONAPO.

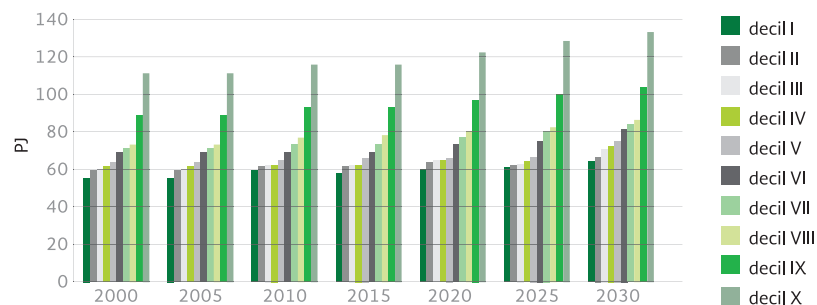


Este desarrollo parece contradictorio en vista del supuesto de la alta tasa de crecimiento del PIB de 4.12% por año. En cierta medida, los resultados pueden explicarse como una consecuencia de la efectividad de las políticas de ahorro energético que han sido implementadas para el sector residencial. De acuerdo al “Análisis de la evolución del consumo eléctrico del sector residencial entre 1982 y 2014 e impactos de ahorro de energía por políticas públicas”<sup>22</sup>, las NOMs en el sector residencial han tenido un impacto relevante, el cual se estima en alrededor de 100 PJ para el año 2014.<sup>23</sup> Además, han contribuido otros programas y otros esfuerzos substanciales de políticas dentro del periodo histórico analizado también enfocados a este sector. La Tabla 9 del anexo correspondiente a la modelación del sector residencial provee un resumen de otros programas y medidas que afectan el consumo energético. Subrayamos que el enfoque econométrico utiliza el desarrollo histórico para proyectar el desarrollo futuro. A la luz de esta gama de políticas efectivas en el pasado, la demanda de energía pronosticada por la ecuación econométrica en este sector implícitamente presume una estabilización de la intensidad como consecuencia de la continuación de las políticas energéticas del periodo histórico.

Finalmente, la **Figura 23** muestra el consumo energético por deciles de ingreso durante el periodo del pronóstico. La ilustración presenta el consumo promedio total por hogar de electricidad, gas seco y otros combustibles, asumiendo que la distribución del ingreso entre los deciles permanecerá constante durante el periodo de consumo.

**Figura 23:**  
Consumo final de energía en el sector residencial por deciles de ingreso

Fuente: Elaboración propia con valores históricos del Sistema de Información Energética de SENER 2014 y de la ENGIH INEGI 2006.



22 Odón de Buen, Fernando Hernández, Juan I. Navarrete (2016)

23 Diez Normas Oficiales Mexicanas (NOM) aplicables a equipos residenciales como refrigeración, iluminación, acondicionamiento de aire, bombeo de agua, lavado de ropa y energía en espera han entrado en vigor a partir de 1996. Adicionalmente existe una serie de programas con efecto de ahorro de energía eléctrica en el sector residencial (Conuee Y SENER 2016).

## 2.4 SECTOR TRANSPORTE

### 2.4.1 DOCUMENTACIÓN DISPONIBLE

La modelación de la demanda energética futura en el sector transporte combina, de forma análoga a los sectores previamente analizados, las proyecciones econométricas con un análisis detallado del parque vehicular y sus parámetros clave. Dado que la información disponible para modelar este sector es relativamente limitada, la *Prospectiva de Petróleo Crudo y Petrolíferos 2015-2029* de SENER constituye la principal fuente de información empleada en este ejercicio. Este documento contiene información consistente sobre:

- El parque vehicular para el periodo histórico (2000-2014), desagregado en 9 categorías (compactos, subcompactos, lujo y deportivo, camionetas, camionetas de uso intensivo, autobuses, camiones medianos, camiones pesados y motocicletas).
- El consumo específico futuro por categoría vehicular (2014-2029) en km por litro.

Esta documentación es la más desagregada de las fuentes públicamente accesibles en el sector de transporte mexicano. La base de datos del Sistema Estatal y Municipal de Bases de Datos del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (SIMBAD-INEGI) contiene documentación histórica del parque vehicular; sin embargo, el grado de agregación es más alto, enlistando sólo 4 clases de vehículos (automóviles, camiones para pasajeros, camiones y camionetas para cargo y motocicletas). Por otra parte, la resolución regional para esta base de datos es más alta, dado que las cuatro categorías nombradas se presentan de acuerdo a la resolución regional de 32 regiones. Otra base de datos que vale la pena mencionar es la página web *ecovehiculos* desarrollada por INECC y Conuee.<sup>24</sup> Esta base de datos muestra el consumo de combustibles y emisiones de una amplia gama de vehículos, especificados por marca y edad.

No se encontró documentación públicamente accesible referente al parque vehicular activo o a la distribución de edad de los vehículos, tampoco de indicadores de actividad como persona-km, tonelada-km o vehículo-km.

La **Tabla 4** proporciona un resumen de la documentación disponible y no disponible para la modelación del sector transporte.

**Tabla 4:**  
Datos disponibles y no disponibles para la modelación del sector de transporte según la *Prospectiva de Petróleo Crudo y Petrolíferos 2015-2029* de SENER

Fuente: Elaboración propia con base en la *Prospectiva de Petróleo Crudo y Petrolíferos 2015-2029* de SENER.

HISTÓRICO (2000-2014)	PROYECCIÓN (2015-2030)
<p><b>DISPONIBLE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parque Vehicular</li> <li>• Consumo total del sector</li> <li>• Distribución del consumo total del sector por clase de vehículo (2014)</li> </ul> <p><b>NO DISPONIBLE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo específico por clase de vehículo</li> <li>• Km recorridos por clase de vehículo</li> </ul>	<p><b>DISPONIBLE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo específico por clase de vehículo</li> <li>• Consumo total del sector (proyección econométrica)</li> <li>• Distribución del consumo total del sector por clase de vehículo (2014)</li> <li>• Parque vehicular (total de vehículos)</li> </ul> <p><b>NO DISPONIBLE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parque vehicular por clase de vehículo</li> <li>• Km recorridos por clase de vehículo</li> </ul>

<sup>24</sup> <http://www.ecovehiculos.gob.mx/>

## 2.4.2 METODOLOGÍA Y ESTRUCTURA DEL MODELO

El procedimiento de modelación se basa en el uso de la demanda energética histórica y futura<sup>25</sup>, así como en la información disponible –con las limitantes mencionadas– sobre el parque vehicular, con el fin de calcular y calibrar la documentación faltante sobre el desarrollo del parque vehicular en el futuro.

El **procedimiento** para calcular la documentación faltante se puede dividir en cinco pasos:

- **Paso 1:** Como paso inicial, se determina el consumo de combustibles de las 9 categorías de vehículos utilizadas en la modelación para el periodo histórico (2000-2014), ya que la prospectiva de petróleo y petrolíferos de SENER abarca únicamente el periodo de pronóstico (2015-2029). Esto se logra extrapolando los valores futuros al pasado.
- **Paso 2:** Se realiza una estimación inicial del parque vehicular manteniendo constante la distribución de vehículos de 2014<sup>26</sup>. Asimismo, se utiliza el número total de vehículos pronosticados por SENER para el período de proyección.
- **Paso 3:** Ya que la prospectiva de SENER también presenta las distribuciones del consumo energético total en el sector transporte por tipo de vehículos (**Figura 41** del anexo correspondiente al sector transporte), se determinan factores de calibración para las distintas categorías de vehículos. Estos factores de calibración sirven para armonizar la distribución de usos de combustibles presentada por SENER en el modelo de LEAP<sup>27</sup>.
- **Paso 4:** Los kilómetros recorridos por el parque vehicular pueden ser determinados al calcular la demanda final de energía del parque, determinada al multiplicar el número de vehículos por sus respectivos consumos específicos, y al compararla con la demanda final de energía de la ecuación econométrica. El factor necesario para que la modelación satisfaga la demanda econométrica es el factor de calibración en km recorridos.
- **Paso 5:** Los vehículos-km calculados en el paso previo pueden ser distribuidos de forma tal que se incremente el parque vehicular mientras que los kilómetros recorridos disminuyan proporcionalmente, o bien, de forma que disminuya el número de vehículos en el parque vehicular pero aumente el número de kilómetros recorridos. Siguiendo la tendencia histórica de una disminución de los kilómetros recorridos por el parque, el modelo es calibrado de tal manera que esta tendencia persista, aunque en menor medida que en el pasado.

25 Determinada por la proyección econométrica.

26 Este supuesto es corregido en un siguiente paso.

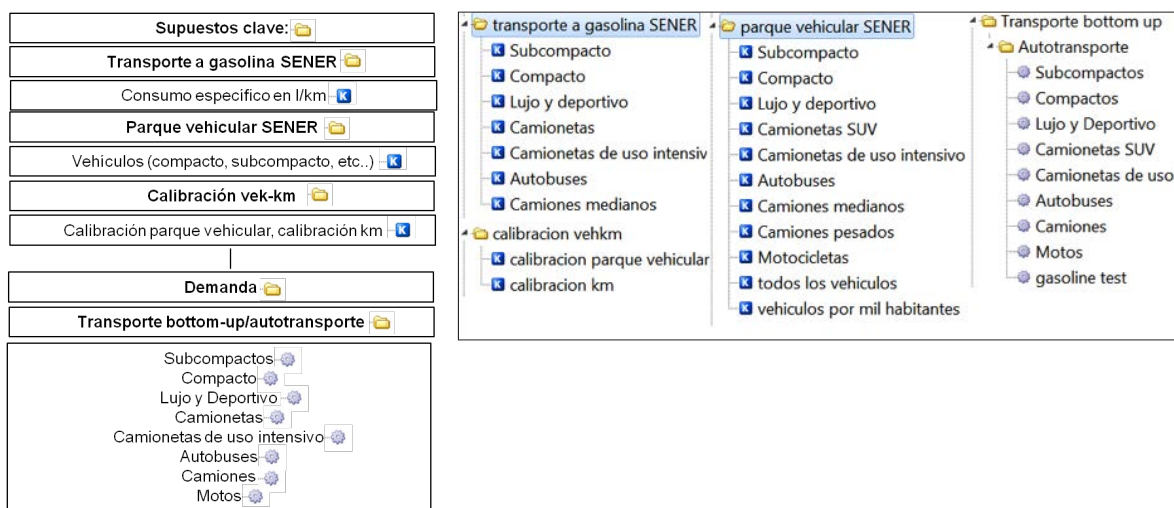
27 Este paso se muestra con mayor detalle en el anexo correspondiente a la modelación del sector transporte. En la Figura 41 de dicho anexo puede verse la distribución del uso de combustibles por categoría de vehículo mientras que la Figura 42 muestra como el modelo de LEAP es calibrado para reflejar este mismo resultado.

La **Figura 24** muestra cómo fue implementado este procedimiento de modelación en el modelo de LEAP:

- **Paso 1:** El cálculo del consumo de combustible por tipo de vehículo se puede encontrar en el registro *SENER supuestos clave/transporte a gasolina*. Es importante mencionar que el supuesto fue ingresado al inverso (en litros por km) de como se presenta en la documentación de SENER (km/l).
- **Paso 2:** se encuentra en el registro *supuestos clave/parque vehicular SENER*.
- **Paso 3:** La armonización de la distribución de SENER del parque vehicular se encuentra en el rubro nivel de actividad de cada una de las categorías de vehículos en el registro de *demanda/transporte bottom up/autotransporte*. Los factores de calibración de la distribución de combustibles se aplican a los kilómetros recorridos. Dichos factores se especificaron como números decimales para los años 2014 y 2030, y se aplican al periodo de proyección utilizando la función de interpolación (**Figura 25**)
- **Paso 4:** El factor de calibración necesario para que la modelación bottom-up satisfaga la demanda econométrica puede ser encontrado en el registro *supuestos clave/calibración vehkm/calibración km*. El factor de calibración de los km recorridos es multiplicado por el parque vehicular. De esta manera se obtiene el supuesto de actividad en vehículos-kilometro.

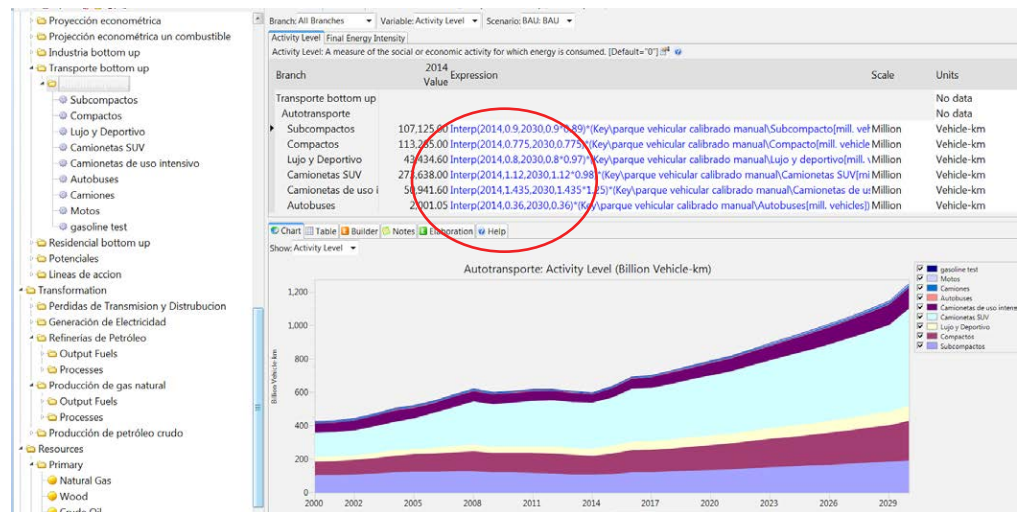
**Figura 24:**  
Estructura del modelo de LEAP en el sector transporte

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 25:**  
Implementación de factores de calibración utilizados para armonizar el modelo de LEAP con la demanda de gasolinas automotrices por segmento

Fuente: Elaboración propia.



### 2.4.3 RESULTADOS

Como se mencionaba anteriormente, el sector transporte es el sector con mayor crecimiento en el periodo de proyección de acuerdo a la modelación econométrica presentada en el capítulo 1. En la **Figura 26** puede observarse este considerable crecimiento<sup>28</sup>. Recordemos que la metodología de modelación de tipo *bottom-up* del sector transporte consistió en ajustar el número de vehículos del parque vehicular y su actividad en kilómetros recorridos de tal manera en que el nivel de actividad, medido en vehículos-km, multiplicado con el consumo específico de las respectivas categorías resulte en la demanda energética pronosticada.

En este sentido, tanto el parque vehicular mostrado en la **Figura 27**, como el promedio de kilómetros conducidos cada año por categoría vehicular (representado en la **Figura 28**) se derivan de la demanda energética pronosticada. El parque vehicular muestra una tendencia de crecimiento constante, llegando a un máximo de alrededor de 100 millones de vehículos en el año 2030.

---

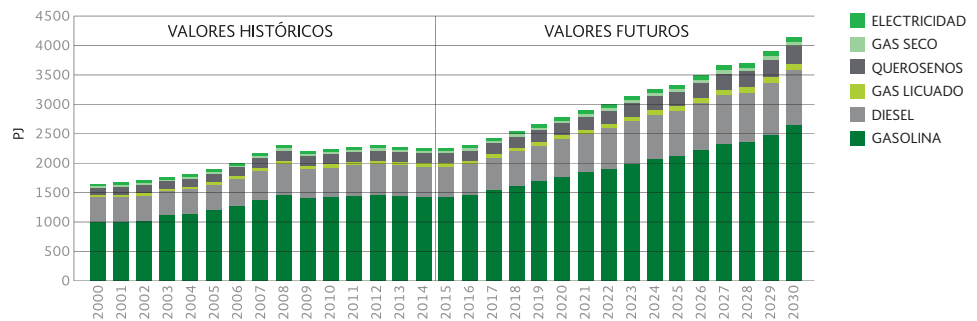
**Para 2030, se proyecta que habrán 730 vehículos por cada 1000 habitantes, contra los 310 del 2015: un total de 100 millones de vehículos en el país.**

---

28 El consumo energético del sector transporte crece hasta alcanzar casi el doble de su valor durante el periodo de proyección, lo cual es consistente con el escenario BAU que considera un crecimiento del PIB a una tasa del 4.12% anual, de acuerdo a la proyección de SENER para el periodo 2015 – 2030.

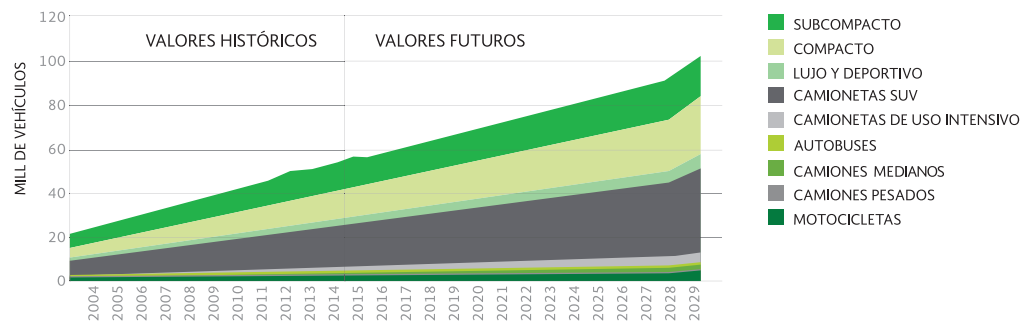
**Figura 26:**  
Consumo final por tipo de combustible en el sector transporte

Fuente: Prospectiva de Petróleo Crudo y Petrolíferos 2015-2029 de SENER (valores históricos), cálculo propio (valores futuros).



**Figura 27:**  
Desarrollo del parque vehicular asumiendo un crecimiento del PIB al 4.12% entre 2015 y 2030

Fuente: Elaboración propia basada en la Prospectiva de petróleo y petrolíferos 2015-2029 SENER.



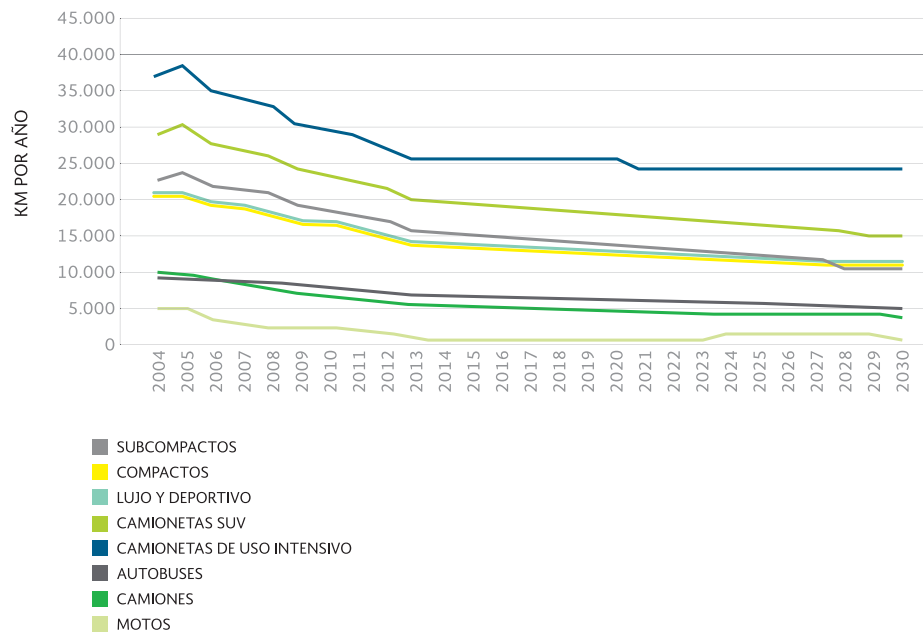
El desarrollo del parque vehicular mostrado en la **Figura 27** parece sobreestimar el número de vehículos de manera considerable, por lo tanto, podría pensarse en realizar una corrección de estos valores. Recordemos que la metodología empleada consiste en hacer que el desarrollo histórico y la proyección futura del consumo energético coincidan con la multiplicación del número de vehículos por los kilómetros conducidos y el consumo específico de cada categoría. Como se mencionó anteriormente, se podría disminuir el número de vehículos, aumentando así los kilómetros recorridos en promedio por el parque vehicular. Para evaluar si esto tendría sentido, se debe analizar el comportamiento histórico de los kilómetros recorridos por las categorías que conforman el parque. La **Figura 28** muestra el desarrollo del promedio de kilómetros recorridos por clase de vehículo tanto para el periodo histórico (2004-2014) como para el periodo de proyección (2015-2030).


**Paralelo al incremento en el número de vehículos del 2015 al 2030 del 135%, hay una reducción del 17% en los km recorridos por cada vehículo.**

Por esta razón, una corrección del futuro incremento del número de vehículos del parque vehicular implicaría un número constante o incluso un incremento de los kilómetros recorridos por año, lo cual se traduciría en una mayor incongruencia en la proyección. Finalmente, debe considerarse analizar y revisar el consumo de combustible declarado por SENER. La **Figura 43** del anexo correspondiente al sector transporte muestra los datos tomados de la Prospectiva de Petróleo Crudo y Petrolíferos 2015-2029. Estos valores podrían estar sobreestimando la eficiencia energética de los vehículos, reflejando la eficiencia de los vehículos nuevos y no del vehículo promedio en circulación.

**Figura 28:**  
Kilómetros recorridos por año por clase de vehículo para los periodos histórico (2000-2014) y futuro (2015-2030)

Fuente: Elaboración propia con base en la Prospectiva de petróleo y petrolíferos 2015-2029 de SENER.





# **CAPÍTULO 3** **POTENCIALES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA**





# POTENCIALES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

## 3.1 POTENCIALES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA A CORTO Y LARGO PLAZO

Determinar los potenciales de eficiencia energética ayuda a entender cuánta energía puede ser ahorrada en un país y los impactos que podrían tener las políticas de eficiencia energética.

Los potenciales de eficiencia energética tienen que diferenciarse claramente de la evaluación de políticas concretas. La implementación de políticas puede llegar a verse restringida por diversos factores que afectarían el cumplimiento de los planes originales. Los potenciales proveen una idea del límite superior del ahorro que puede ser alcanzado por un paquete coherente y extensivo de políticas. Los paquetes concretos de políticas de eficiencia energética con frecuencia aspiran a alcanzar los potenciales determinados.

Los potenciales de eficiencia energética pueden clasificarse como sigue:

- **Potencial teórico:** Este potencial puede alcanzarse a muy largo plazo (varias décadas, dependiendo del tipo de energía considerada). Típicamente ese tipo de potenciales pueden ser derivados para un país por medio de un *benchmarking* (es decir, una comparación con el rendimiento existente en otros países) a un nivel enteramente agregado del uso de energía.
- **Potencial técnico/casi económico:** En este tipo de potenciales, los ciclos de inversión permanecen<sup>29</sup> inalterados en comparación con el desarrollo de línea base. Esto implica que la penetración de medidas de eficiencia energética toma cierto tiempo. Este potencial también considera medidas de eficiencia energética que no son rentables en el corto plazo. En ciertos casos, el potencial *técnico/casi económico* se refiere exclusivamente a las opciones rentables (desde un punto de vista económico), incluyendo solamente alternativas que no llevan a un incremento de los costos energéticos. No obstante, la idea de este tipo de potenciales es considerar no sólo las

<sup>29</sup> En ciertos casos los ciclos de inversión se pueden mejorar mediante medidas como programas de subsidios (por ejemplo, para la chatarrización de automóviles ineficientes o para la remodelación de edificios ineficientes).

---

opciones de menor costo durante todo el ciclo de vida del proyecto<sup>30</sup>, las cuales reducen los costos energéticos inmediatamente, sino también alternativas más costosas, las cuales individualmente incrementan los costos. Evaluadas en conjunto, sin embargo, las medidas adoptadas no implican un incremento los costos energéticos. Este tipo de potenciales es el que típicamente es calculado por medio de ejercicios de modelación.

- **Potenciales económicos en un marco de políticas de eficiencia energética de alta intensidad (HPI por sus siglas en inglés):** De forma análoga al potencial técnico/casi económico, los ciclos de inversión permanecen generalmente sin alteración en relación al desarrollo habitual. Sin embargo, en este caso se consideran únicamente los potenciales económicos. Estos potenciales se obtienen al ver las medidas de eficiencia energética estrictamente como inversiones económicas, tomando en cuenta parámetros como la evolución de los precios de la energía, efectos del aprendizaje tecnológico, efectos de escala, etc. La idea detrás de la estimación de este tipo de potenciales es tener en cuenta exclusivamente las opciones rentables, considerando un ambiente de políticas de eficiencia energética de alta intensidad. Se asume que el proceso de implementación de las políticas no sufre demoras, y se consideran sinergias entre las distintas políticas. Las barreras a la implementación de la eficiencia energética son superadas gracias al enfoque de política empleado. Típicamente, este amplio enfoque de las políticas de eficiencia energética se traduce en bajas tasas de interés para inversiones de esta índole. Este es el tipo de potenciales que se examinaron en el contexto de este ejercicio.
- **Potenciales económicos en un marco de políticas de eficiencia energética de baja intensidad (LPI por sus siglas en inglés):** Se asume que el proceso de implementación de políticas no podrá superar en gran medida las barreras microeconómicas existentes para el aumento de la eficiencia energética (de allí su “baja intensidad”). Esto se refleja en tasas de interés más altas para inversiones en medidas de eficiencia energética. Este tipo de potencial refleja lo que las políticas podrían alcanzar de forma realista en un lapso más corto de tiempo, es decir, hasta 2030. Cabe mencionar que paquetes concretos de políticas podrían alcanzar sólo una fracción de los potenciales previstos en un escenario de “Baja Intensidad”. Estos potenciales no fueron considerados dentro del alcance de este ejercicio.

---

30 Least life-cycle cost options.

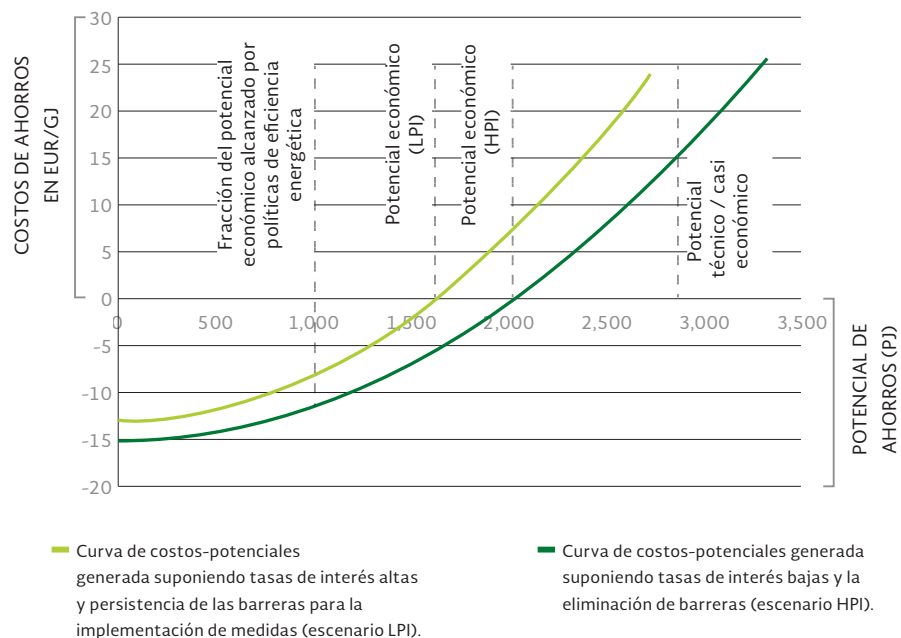


La **Figura 29** presenta un resumen de las definiciones de los potenciales de eficiencia energética y sus impactos en las políticas concretas de Líneas de Acción. La línea verde claro muestra los potenciales de eficiencia energética en función de los costos. En la primera sección, la curva se encuentra en el área de costos negativos (sección negativa de la escala vertical), lo cual implica que los potenciales representan inversiones atractivas desde el punto de vista económico. A medida que avanza la curva, los potenciales de ahorro de energía se vuelven más caros, hasta el punto en que no son rentables (intersección de la curva con el eje horizontal). Los potenciales con costos positivos no son rentables durante el tiempo de vida del proyecto. No obstante, existen ciertos potenciales con costos positivos, dado que el sistema energético nunca está perfectamente optimizado desde el punto de vista económico. Estos son los potenciales *técnicos/casi* económicos. Estos potenciales pueden ser aprovechados sin generar costos *más altos que los actuales*. Adicionalmente, la curva verde oscuro en la **Figura 29** muestra los potenciales de eficiencia energética en función de los costos, pero calculada descontando los futuros flujos monetarios en los proyectos de eficiencia energética a una tasa de interés menor. Asimismo, la curva verde oscuro considera que las barreras para la implementación de medidas de eficiencia energética son eliminadas gracias a la implementación de políticas de alta intensidad.

Es importante enfatizar que los potenciales son adicionales a la línea base: dicha referencia incluye ciertas medidas de eficiencia energética, por ejemplo, los procesos industriales mejoran su eficiencia debido al impacto de los precios energéticos del mercado o del progreso tecnológico natural. Los potenciales representan ahorros adicionales que pueden ser alcanzados gracias a la implementación de paquetes de políticas específicas, aunque, como se mencionaba anteriormente, estos paquetes sólo logran alcanzar una fracción de los potenciales existentes (ver las líneas punteadas en **Figura 29**).

**Figura 29: Ilustración de los distintos tipos de potenciales**

Fuente: Elaboración propia.



### 3.2 METODOLOGÍA Y ESTRUCTURA DEL MODELO

En este ejercicio se analizaron dos tipos de potenciales:

- **Potenciales teóricos a largo plazo** derivados de comparaciones (o *benchmarks*) de alto-nivel con países similares que cuentan con un mejor nivel de eficiencia energética. Claramente, la noción de países “similares” es difícil de aplicar. Por ello, estos potenciales son indicativos de ahorros que podrían ser alcanzados en décadas. Los potenciales teóricos fueron estimados únicamente para ilustrar la magnitud de los ahorros que podrían alcanzarse en el país a largo plazo (es decir, hasta 2050). En el anexo 10.1 pueden consultarse figuras que ilustran este tipo de comparaciones.
- **Potenciales teóricos a mediano plazo** basados en una serie de políticas coherentes y extensas (“políticas de alta intensidad” o HPI por sus siglas en inglés). Estos potenciales pueden ser alcanzados en el año 2030. Normalmente, ese tipo de potenciales se estiman con base en actividades y ciclos de inversión similares a los de la línea base, pero asumiendo que las políticas podrían ser capaces de agotar una fracción de los potenciales existentes hacia 2030. Estos potenciales se derivaron de un estudio detallado de tecnología en el contexto europeo<sup>31</sup>, el cual examina el progreso tecnológico posible para diferentes tipos de usos finales a un nivel muy detallado<sup>32</sup>. Adicionalmente se llevó a cabo un análisis de la documentación disponible, y se tuvieron discusiones con expertos en diferentes sectores, todo esto con la finalidad de identificar las barreras existentes y determinar la viabilidad de los potenciales de eficiencia energética. Dentro del contexto europeo, se seleccionaron como referencia los resultados obtenidos para España, dado que es el país más comparable a México cuando inició su transición energética. Se aplicaron al contexto mexicano los potenciales existentes en distintos tipos de usos finales a un nivel muy detallado, con el fin de obtener una primera aproximación de la magnitud de los ahorros alcanzables en el país.

---

**Debido a la similitud en transiciones energéticas entre México y España, los potenciales a mediano plazo se basaron en los de ese país europeo, adaptando el caso con información disponible y aportes de expertos multisectoriales.**

---

Un supuesto implícito en esta metodología es que los procesos y tecnologías analizadas son comparables. Esto es el caso para los aparatos residenciales y comerciales, para ciertos procesos industriales y para los vehículos. Naturalmente, la economía Mexicana tiene una estructura distinta a la de los países europeos en sus sectores de consumo

31 Fraunhofer ISI et al (2013). “Study evaluating the current energy efficiency policy framework in the EU and providing orientation on policy options for realizing the cost-effective energy efficiency/saving potential until 2020 and beyond”. Disponible en: [http://www.isi.fraunhofer.de/isi-en/x/projekte/PolicyEval\\_Framework\\_331252.php](http://www.isi.fraunhofer.de/isi-en/x/projekte/PolicyEval_Framework_331252.php)

32 Equipos y procesos para todos los sectores, como por ejemplo aparatos residenciales, procesos y aparatos industriales como motores eléctricos, aire comprimido, bombeado, ventilación, etc.

energético. Por ello, los potenciales fueron implementados a nivel sub-sectorial, donde la comparabilidad entre tecnologías es mayor.

Dadas las restricciones de tiempo, no se incluyó dentro del alcance de este proyecto la elaboración de un análisis independiente y detallado de los potenciales existentes en México. Por la misma razón, no fue posible validar los potenciales estimados por medio de entrevistas y consultas con expertos locales. Esto es un paso a seguir muy recomendable. No obstante, es de esperarse que los potenciales existentes en México sean mayores a las estimaciones de este ejercicio, dado que generalmente, los estándares tecnológicos en el contexto europeo son más exigentes que los estándares de México. Por ejemplo, el consumo específico de los automóviles mexicanos es considerablemente más alto en promedio que el de los automóviles europeos. Esto se debe en gran parte a la gran presencia de vehículos pesados en el parque vehicular. Consideramos parcialmente en nuestros potenciales que la composición del parque vehicular es el producto de las preferencias de los consumidores. No obstante, se podría considerar la posibilidad de reforzar los instrumentos fiscales mediante un esquema similar al de “*Bonus-Malus*” existente en Francia<sup>33</sup>, el cual podría influenciar las decisiones de los consumidores de manera considerable.

Los principales supuestos utilizados para determinar los potenciales económicos por sector se explican brevemente a continuación. En general, se supone la implementación de paquetes de políticas amplios y ambiciosos:

**Potenciales relacionados con equipamiento en diferentes sectores:** Estos potenciales suponen la implementación de una amplia gama de estándares ambiciosos y dinámicos que establezcan especificaciones mínimas para diversos dispositivos. Incluyen asimismo programas altamente efectivos para promover los mejores equipos, generando un mercado para los mismos. Un grupo de estándares similares puede ser concebido para México, mediante un proceso análogo al de eco-diseño en la Unión Europea, considerando que este proceso está siendo implementado de manera paulatina y se enfoca en las mejores tecnologías disponibles. Se asume que las decisiones de los consumidores están fuertemente basadas en los costos de ciclo de vida de los productos, lo cual refleja la supuesta reducción de barreras no-monetarias para la adopción de tecnologías de eficiencia energética. Los supuestos detallados se encuentran en la **Tabla 24** del estudio de potenciales de Europa citado anteriormente<sup>33</sup>.

**Potenciales relacionados con edificios:** Se supone la implementación de regulaciones ambiciosas para edificios nuevos y renovaciones generales de los edificios existentes. Asimismo, se consideran medidas efectivas para incrementar la tasa de remodelación, y obligaciones para el aprovechamiento de calor de fuentes renovables (principalmente calentamiento solar de agua). Las políticas concretas que se incluyen en los supuestos son: (1) la obligación de mejorar el desempeño energético

33 [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014\\_neeap\\_en\\_france.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014_neeap_en_france.pdf) y [http://www.energy-efficiency-watch.org/fileadmin/eew\\_documents/Documents/EEW2/France.pdf](http://www.energy-efficiency-watch.org/fileadmin/eew_documents/Documents/EEW2/France.pdf)

cuando haya cambios de propietario o arrendatario en los inmuebles; (2) apoyos financieros para la renovación de los edificios; (3) medidas para incrementar el cumplimiento de códigos o estándares para los inmuebles relacionados con sistemas eficientes de enfriamiento, incluyendo tanto edificios nuevos como la remodelación de edificios existentes, y (4) capacitación de constructores o instaladores para mejorar la implementación de las medidas en la práctica e incrementar su impacto.

**Equipamiento en el sector de servicios:** Se considera una amplia gama de estándares mínimos para los dispositivos, así como la implementación de programas altamente efectivos. Asimismo, se supone que todas las medidas de eficiencia energética con un valor presente neto positivo son implementadas.

**Sector transporte:** Asumimos la implementación de un paquete extenso de políticas, incluyendo: (1) La extensión de los peajes para automóviles de pasajeros y vehículos de carga ligera en las ciudades y en carreteras y autopistas; (2) Fomento de la eficiencia energética en vehículos comerciales (camionetas de entrega, taxis, autobuses, etc.); (3) Aumento de la tasa de reemplazo de vehículos ineficientes y altamente contaminantes, sacando de circulación los automóviles viejos e ineficientes; (4) Implementación de un sistema de arancel-reembolso para comprar automóviles de pasajeros basado en las emisiones de CO<sub>2</sub>; (5) Promoción extensiva y capacitación en eco-manejo<sup>34</sup>, y (6) Reducción de las emisiones promedio de CO<sub>2</sub> por vehículo/kilómetro para nuevos automóviles de pasajeros de 70g CO<sub>2</sub> por vehículo/kilómetro hasta 2030. Una reducción de esta magnitud es técnica y económicamente factible en Europa, por lo tanto, se considera factible también en el contexto mexicano. Esto en términos relativos, tomando en cuenta que el carro promedio mexicano consume más que el carro promedio en la Unión Europea. Una reducción similar está siendo considerada para vehículos de carga ligera en Europa y fue considerada de la misma manera para carros privados (light-duty vehicles) mexicanos, los cuales alcanzan un nivel de 90 g CO<sub>2</sub> por vehículo-kilómetro para vehículos nuevos registrados en 2030. Es de resaltar que México tiene una meta similar, de 92.2 gramos de CO<sub>2</sub>/km, armonizando el estándar Mexicano con el estándar de CAFE de los Estados Unidos. No obstante, este objetivo es para el año 2025. Estimar los potenciales utilizando el estándar de 90 gramos de CO<sub>2</sub>/km en 2030 es, en consecuencia, un enfoque cauteloso. Asimismo, se considera una reducción del consumo promedio de combustibles por vehículo/km de los vehículos de carga pesada de 27% de 2014 hasta 2030, lo cual también corresponde a la viabilidad técnica y económica valorada en la Unión Europea.

**Sector industrial:** Se asume una extensa implementación de estándares de eco-diseño para las tecnologías transversales en la industria (motores eléctricos y sus aplicaciones). Además, se asume que alrededor del 60% de todas las compañías aún invierten cuando las medidas de eficiencia energética tienen un tiempo de retorno de

34 Esta medida por sí sola puede inducir una reducción del consumo de combustible del 5 al 7% hasta 2030.

inversión inferior a 5 años. Esto refleja un nivel de ambición aún más alto para políticas basadas en la información.

Los potenciales descritos fueron implementados en el modelo siguiendo la misma estructura que para la línea base.

### 3.3 RESULTADOS

En esta sección se presentan de forma resumida los resultados de esta evaluación preliminar de los potenciales de eficiencia energética para México. En el anexo 10 se han incluido figuras adicionales.

La **Tabla 5** presenta un resumen de los potenciales estimados para México en un marco de políticas de eficiencia energética de alta intensidad (HPI). Dado el mayor avance tecnológico en el contexto europeo, se espera que los potenciales existentes en México sean más elevados. En la tabla se incluye también la tasa anual de reducción del consumo de energía necesario para alcanzar la totalidad de los potenciales estimados en el año 2030.

**Tabla 5: Potenciales en un marco de políticas de eficiencia energética de alta intensidad (HPI)**

Fuente: Elaboración propia basado en Fraunhofer ISI (2014).

INDUSTRIA			
SECTOR O PROCESO	BAU 2030	POTENCIALES 2030	CAARG 2015-2030
Proceso de baja intensidad energética	100%	83%	-1.2%
Industria química	100%	91%	-0.7%
Ingeniería y metales	100%	89%	-0.7%
Comida, bebidas y tabaco	100%	81%	-1.4%
Siderurgia	100%	88%	-0.9%
Metales no ferrosos	100%	89%	-0.8%
Cemento y arcillas	100%	89%	-0.8%
Papel	100%	75%	-1.9%



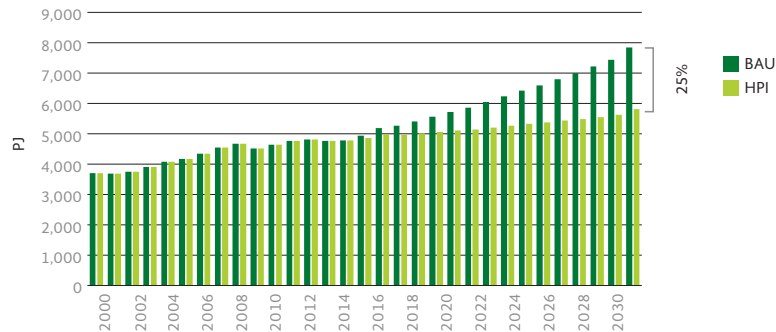
TRANSPORTE			
SECTOR O PROCESO	BAU 2030	POTENCIALES 2030	CAARG 2015-2030
Transporte de pasajeros	100%	65%	-2.8%
Vehículos de transporte personal	100%	60%	-3.3%
Autobuses	100%	71%	-2.2%
Trenes	100%	91%	-0.6%
Transporte de carga	100%	68%	-2.5%
Vehículos <i>light</i> y <i>heavy duty</i>	100%	68%	-2.5%
RESIDENCIAL			
SECTOR O PROCESO	BAU 2030	POTENCIALES 2030	CAARG 2015-2030
Electrodomésticos	100%	71%	-2.2%
Alumbrado	100%	86%	-1.0%
Cocción de alimentos total	100%	89%	-0.8%
Eléctrica	100%	83%	-1.2%
No eléctrica	100%	91%	-0.6%
Aire acondicionado	100%	91%	-0.7%
Calentamiento de agua	100%	75%	-1.9%
COMERCIAL			
SECTOR O PROCESO	BAU 2030	POTENCIALES 2030	CAARG 2015-2030
Dispositivos eléctricos (total incluyendo elevadores, TI, iluminación, aire acondicionado, etc.)	100%	63%	-3.0%
AGRICULTURA			
SECTOR O PROCESO	BAU 2030	POTENCIALES 2030	CAARG 2015-2030
Total sector agropecuario	100%	89%	-0.8%

La **Figura 30** presenta una comparación de la línea base con los potenciales derivados según el escenario de políticas de eficiencia energética de alta intensidad. En su totalidad, los potenciales representan una reducción de aproximadamente 25% del consumo en el año 2030 (considerando los potenciales

en los sectores industrial, residencial, autotransporte -el cual representa el 92% del consumo total de sector de transporte- comercial y agropecuario). En el anexo correspondiente a los potenciales de eficiencia energética pueden consultarse con mayor detalle los potenciales a nivel sub-sectorial.

**Figura 30: Escenario BAU vs. Escenario de potenciales en un marco de políticas de eficiencia energética de alta intensidad (HPI) para los sectores industrial, residencial, comercial, autotransporte y comercial**

Fuente: Elaboración propia con base en Fraunhofer ISI (2013).

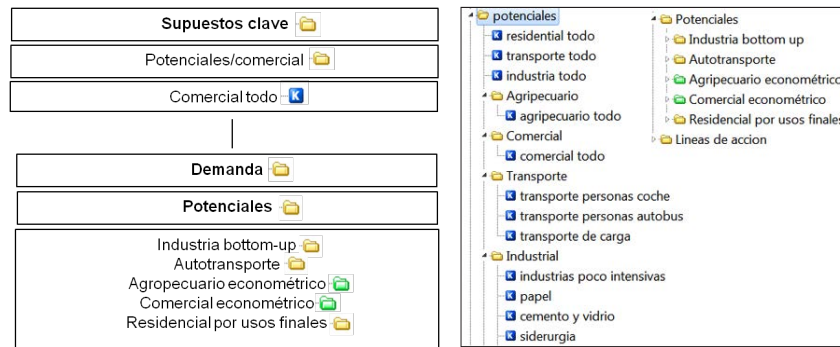


La **Figura 31** muestra la estructura empleada para la modelación de los potenciales en LEAP. El procedimiento para implementar los potenciales puede ser descrito en los siguientes 4 pasos:

- 1 Como primer paso, se creó un escenario nuevo de potenciales.
- 2 En el registro de *supuestos clave*, cada potencial a ser implementado se define como un supuesto clave independiente, el cual contiene un índice con el valor de 1 para el escenario BAU. En el escenario de potenciales, el índice refleja la tasa de crecimiento compuesto correspondiente al potencial, tal y como se muestra en la **Tabla 5**. Dicho índice se introduce utilizando el comando “*growth()*” de LEAP.
- 3 Se multiplica el índice asociado al potencial existente por el futuro desarrollo del consumo energético, el cual se define en el registro *demanda/potenciales*.
- 4 Los resultados de LEAP pueden ser exportados a Excel para comparar el escenario BAU y el escenario potencial.

**Figura 31:**  
**Implementación de los**  
**potenciales en el modelo LEAP**

Fuente: elaboración propia.





# CAPÍTULO 4

## RECOMENDACIONES

PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS,  
INFORMACIÓN ENERGÉTICA E INDICADORES  
DE EFICIENCIA ENERGÉTICA





# RECOMENDACIONES

## PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS, INFORMACIÓN ENERGÉTICA E INDICADORES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

### 4.1 DÉFICITS DE DOCUMENTACIÓN IDENTIFICADOS

Para la realización de los análisis de los sectores industrial, residencial y de transporte descritos en este informe, fue necesario adaptar las metodologías de proyección con el fin de subsanar las limitaciones de la información disponible. Ésta sección y la siguiente tienen como propósito presentar de forma resumida los mayores déficits de información identificados durante este proyecto. Asimismo, se pretende subrayar la importancia de mejorar las fuentes de información a fin de poder analizar y monitorear la eficiencia energética utilizando indicadores internacionales. La **Tabla 6** proporciona un resumen de la información disponible, así como de los déficits de información identificados durante este ejercicio de modelación.

Tabla 6: Información disponible para la modelación

Fuente: Elaboración propia.

SECTOR		SITUACIÓN EN CUANTO A DATOS Y DOCUMENTACIÓN
INDUSTRIA	Disponible	<ul style="list-style-type: none"> <li>Series temporales del consumo energético para las industrias de alto consumo energético (SIE-SENER)</li> <li>Series temporales del valor agregado por sector y subsector, a pesar de existir una discrepancia notoria entre las encuestas existentes (INEGI)</li> </ul>
	No disponible	<ul style="list-style-type: none"> <li>Series temporales de producción (unidades)</li> <li>Procesos de producción las industrias de alto consumo (por ej. proceso BOF vs. proceso EAF, tipo de productos químicos producidos, etc.)</li> <li>Tiempo de vida y eficiencia de los procesos</li> </ul>
RESIDENCIAL	Disponible	<ul style="list-style-type: none"> <li>Datos económicos como el ingreso disponible y los gastos por hogar (INEGI, ENIGH)</li> <li>Datos demográficos tales como el crecimiento de población, la tasa de urbanización, etc. (CONAPO, UN, Banco Mundial)</li> </ul>

SECTOR		SITUACIÓN EN CUANTO A DATOS Y DOCUMENTACIÓN
RESIDENCIAL	No disponible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Documentación sobre aparatos y su eficiencia, incluyendo inventarios, tiempo de vida, horas de trabajo, horas de pausa</li> <li>• Metros cuadrados de los hogares</li> <li>• Nivel de aislamiento de los hogares</li> <li>• Eficiencia de aparatos de climatización</li> </ul>
TRANSPORTE	Disponible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Documentación parcial sobre el parque vehicular (SIMBAD, SENER)</li> <li>• Documentación parcial sobre el consumo específico de combustibles por clase de vehículo (Prospectiva de petrolíferos SENER, base de datos de eco vehículos)</li> </ul>
	No disponible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Base de datos de vehículos activos incluyendo el consumo específico de combustible y el tiempo de vida</li> <li>• Tasa de penetración del mercado de nuevos vehículos, vehículos importados, chatarrización de vehículos viejos</li> <li>• Base de datos del nivel de actividad del parque vehicular por tipo de vehículo (vehículo-km, persona-km, tonelada-km)</li> </ul>
COMERCIAL	No disponible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de empleados por sub-sector</li> <li>• Superficie por empleado por sub-sector</li> <li>• Superficie de edificios y oficinas comerciales</li> <li>• Consumo específico de los edificios</li> <li>• Tecnologías instaladas en los edificios, así como horas de uso y tiempo de vida de las mismas</li> <li>• Grado de aislamiento térmico de los edificios</li> </ul>
OTROS	Disponible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precios de los energéticos (por ej. el precio de la electricidad) (SIE-SENER, CFE)</li> </ul>
	No disponible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Superficies irrigadas en el sector agropecuario</li> </ul>

## 4.2 INDICADORES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Desde hace muchos años se han desarrollado indicadores de eficiencia energética y se ha recopilado información sobre las políticas de eficiencia energética a nivel europeo, tanto por parte del proyecto ODYSEE-MURE ([www.odyssee-mure.eu](http://www.odyssee-mure.eu)), como por parte de la Agencia Internacional de Energía.

---

**Los indicadores son herramientas muy útiles para monitorear metas y políticas de eficiencia energética”.**

---

Alemania ha desarrollado una extensa serie de indicadores para su Transición Energética<sup>35</sup>. La Conuee ha participado en eventos internacionales sobre esos indicadores y México podría beneficiarse de una herramienta de monitoreo sistemático a nivel nacional.

El siguiente resumen muestra una comparación con los indicadores calculados de eficiencia energética para la Unión Europea y cuáles de ellos podrían ser posiblemente calculados para México o si únicamente sería posible con una recolección de datos adicional. Los indicadores están divididos por indicadores titulares (los más importantes), indicadores de asuntos (los cuales son utilizados para ilustrar ciertas cuestiones, es decir, el impacto de los cambios en las estructuras industriales) e indicadores de comparación (para comparar con referencia a otros países).

Se puede apreciar que no es posible calcular todos los indicadores por ahora, especialmente en el sector residencial y de servicios. Esto requiere encuestas de información adicionales. México ya ha comenzado a investigar cómo se pueden organizar estas encuestas, pero estas encuestas tienen que ser llevadas a cabo a un nivel, hasta cierto punto, regular.

35 <http://www.bmwi.de/EN/Topics/Energy/Energy-Transition/monitoring,did=646088.html>



Tabla 7: Información disponible para la modelación

Fuente: Elaboración propia.

SECTOR	INDICADORES
INDUSTRIA	<p><b>Es posible utilizarlos en México</b></p> <p><b>Indicadores titulares</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensidad energética de la industria</li> <li>• Intensidad energética de las ramas industriales</li> </ul>
	<p><b>Indicadores de asuntos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensidad</li> </ul> <p><b>Indicadores de comparación</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensidad energética de manufacturar a una estructura constante a APP</li> <li>• Intensidad energética de manufacturar a una estructura de referencia a APP</li> <li>• Consumo de unidades de productos seleccionados, energéticamente intensos como acero, cemento, papel</li> </ul> <p><b>No es posible debido a limitaciones de documentación</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ODEX para industria</li> </ul>
RESIDENCIAL	<p><b>Es posible utilizarlos en México</b></p> <p><b>Indicadores titulares</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo por unidad de vivienda</li> <li>• Consumo por unidad de electricidad por vivienda</li> <li>• Consumo por unidad por vivienda con correcciones climáticas</li> </ul> <p><b>Indicadores de asuntos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo por unidad de vivienda para iluminación y aparatos eléctricos (en suma)</li> </ul> <p><b>Indicadores de comparación</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo por unidad de vivienda (o m<sup>2</sup>) escalados al país de comparación</li> </ul>
	<p><b>No es posible debido a limitaciones de documentación</b></p> <p><b>Indicadores titulares</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ODEX para el sector residencial</li> <li>• Consumo por unidad por m<sup>2</sup> con correcciones climáticas</li> </ul> <p><b>Indicadores de asuntos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo por unidad de vivienda o m<sup>2</sup> para diferentes usos finales con correcciones de clima (agua caliente, enfriamiento del espacio)</li> <li>• Consumo por unidad de vivienda para iluminación y aparatos eléctricos</li> <li>• Consumo específico de viviendas nuevas (multifamiliares/ viviendas familiares simples)</li> <li>• Consumo específico de electricidad de diferentes aparatos (inventario y nuevos aparatos)</li> <li>• Índice de eficiencia energética por hogar (ODEX)</li> </ul> <p><b>Indicadores de comparación</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo de enfriamiento por m<sup>2</sup> (o vivienda) por grado-día</li> </ul>

SECTOR	INDICADORES
TRANSPORTE	<p><b>Es posible utilizarlos en México</b></p> <p><b>Indicadores titulares</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensidad energética de transporte relacionado con PIB</li> <li>• Consumo por unidad de vehículos de gasolina (toe/vehículo)</li> </ul> <p><b>Indicadores de asuntos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo por unidad de transporte de pasajeros (koe/pkm)</li> <li>• Consumo por unidad de transporte de vía por automóvil equivalente (toe/carro)</li> <li>• Consumo por unidad de transporte de bienes (koe/tkm)</li> <li>• Consumo por unidad de transporte de bienes por vía (koe/tkm)</li> </ul> <p><b>No es posible debido a limitaciones de documentación</b></p> <p><b>Indicadores titulares</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ODEX para el sector transporte</li> <li>• Consumo por unidad de transporte de rieles: pasajeros, bienes (koe/tkbr)</li> <li>• Consumo por unidad de transporte aéreo (koe/pass)</li> <li>• Consumo por unidad de transporte aéreo doméstico (koe/pkm)</li> <li>• Consumo por unidad de transporte de agua (koe/pkm)</li> <li>• Consumo por unidad de transporte urbano</li> </ul> <p><b>Indicadores de asuntos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo por unidad de transporte de vía por carro equivalente (toe/car)</li> <li>• Consumo específico de carros nuevos (valores de prueba) (l/100km)</li> <li>• Consumo específico de carros (toe/car)</li> <li>• Consumo por unidad de carros por pasajero-km (koe/pkm)</li> <li>• Consumo por unidad de vehículo pesado de diésel (toe/vehículo)</li> <li>• Consumo por unidad de camiones (o camiones y vehículos ligeros) (toe/vehículo)</li> <li>• Consumo por unidad de transporte de pasajeros a un constante reparto modal (koe/pkm)</li> <li>• Consumo por unidad de transporte de bienes a un constante reparto modal</li> </ul> <p><b>Indicadores de comparación</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo por unidad de transporte de pasajeros en referencia con el reparto modal (koe/pkm)</li> <li>• Consumo por unidad de transporte de bienes a un constante reparto modal</li> </ul>





# **CAPÍTULO 5**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**





# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1 SÍNTESIS

Este reporte presenta un análisis del desarrollo histórico y futuro del consumo final de energía en México, el cual fue realizado con un enfoque de modelación en LEAP. Este documento presenta en detalle la metodología y la estructura de modelación utilizada, así como observaciones acerca de la documentación disponible y sus limitaciones. Adicionalmente, el reporte incluye estimaciones de los potenciales de ahorro de energía, los cuales se obtuvieron aplicando al caso mexicano los resultados de un detallado estudio tecnológico que considera aparatos y procesos en el contexto europeo.

**Para pronosticar la demanda energética en México se asumió una recuperación rápida del precio del petróleo, así como una economía próspera que crece a una tasa del 4.12%. Se espera que la demanda energética crezca de su nivel actual aproximado de 5,000 PJ en 2015 a aproximadamente 8,000 PJ en 2030.**

Para pronosticar la demanda energética en México se asumió una recuperación rápida del precio del petróleo, así como una economía próspera que crece a una tasa del 4.12%. Ambos supuestos, obtenidos de la SENER, llevan a un considerable crecimiento de la demanda energética en el futuro: se espera que la demanda energética crezca de su nivel actual aproximado de 5,000 PJ en 2015 a aproximadamente 8,000 PJ en 2030. Esto corresponde a un CAARG en el periodo de proyección de aproximadamente 3.2%. Además, el análisis de sensibilidad muestra que este rápido aumento de la demanda energética es altamente dependiente del crecimiento económico supuesto para el periodo del pronóstico. Un análisis de sensibilidad muestra que el uso de una tasa moderada de crecimiento del 2% (que corresponde aproximadamente al crecimiento económico observado en los últimos 15 años) llevaría a una demanda energética final substancialmente menor, de aproximadamente 5,900 PJ en 2030. Se vuelve evidente que todos los cálculos de este ejercicio se ven afectados por el supuesto económico.

El consumo energético de los sectores industria, residencial y transporte fue analizado por medio de una modelación detallada a nivel sub-sectorial. Este análisis muestra que cada sector está caracterizado por un desarrollo particular:

---

- El análisis del sector industrial se enfoca en las ramas energo intensivas (como hierro y acero, vidrio, cemento, etc.) determinando el desarrollo de la intensidad energética histórica y futura con base en el valor agregado de dichas ramas. El desarrollo futuro muestra que la estructura del consumo de energía del sector no cambiaría substancialmente hacia el final del periodo de proyección en 2030.
  - El sector residencial está caracterizado por un crecimiento muy lento en la demanda energética final durante el periodo histórico (2000-2014), mientras que el número de hogares ha mostrado un incremento más rápido. Esto implica una tendencia a la baja en el consumo promedio por hogar durante el periodo histórico, la cual continúa en el periodo de proyección. Es importante mencionar que – debido a la falta de información detallada de los consumos finales – el análisis del sector se llevó a cabo por deciles de ingreso. Dicho análisis muestra que el hogar promedio en el decil más bajo requiere el 78%, mientras que el decil más alto requiere el 150% de la energía promedio de todos los deciles.
  - El desarrollo del parque vehicular en el pasado ha mostrado un incremento considerable en el número de vehículos registrados, resultando en un crecimiento del parque total a una tasa de más de 6% anual (2004-2014). En concordancia con la proyección econométrica, asumiendo una economía con crecimiento fuerte, se espera que el parque vehicular siga esta tendencia de considerable incremento en el futuro.
- 

En concordancia con el desarrollo de la línea base, los potenciales existentes de ahorro de energía fueron determinados. Los resultados muestran que existe un potencial considerable para ahorrar energía en todos los sectores. El sector transporte tiene una relevancia particular, sobre todo el transporte vehicular, el cual tiene la mayor contribución a la demanda energética final (51% en el año 2030) y también el mayor crecimiento (7% con respecto a 2015). Los potenciales en conjunto se estiman en un 25% en comparación a la línea base.

En cuanto a la información y la documentación disponibles, algunos datos como información sobre el consumo energético, el valor agregado por sector y sub-sector, y el desarrollo económico y demográfico de los hogares están muy bien documentados. Sin embargo, hay grandes déficits de información en todos los sectores: en particular, documentación robusta sobre el parque vehicular (vehículos activos, consu-



mo específico, nivel de actividad), para el sector residencial (aparatos, inventarios, tiempo de vida, horas de uso, eficiencias), para el sector comercial (área de los edificios, empleados, dispositivos del edificio) y para la industria (actividad física y procesos).

## 5.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este ejercicio de modelación en LEAP abre la puerta a un mejor entendimiento de los factores causantes del desarrollo de la demanda energética histórica y futura a nivel nacional. En particular, permite que la visualización y el análisis de la demanda energética por sector y sub-sector se adapten al futuro crecimiento económico y a la evolución de los precios de los combustibles fósiles.

Además, este ejercicio de modelación muestra posibilidades de identificar y entender mejor los potenciales de ahorro de energía, sobre los cuales pueden y deben incidir las políticas energéticas. En este sentido, este tipo de ejercicios de modelación puede proporcionar a los responsables políticos una base formal para la toma de decisiones.

Sin embargo, la modelación puede y debe ser mejorada para hacerla más realista. En este sentido, todos los supuestos del modelo deberían ser revisados y mejorados, incluyendo el supuesto más fundamental dentro de este ejercicio: la futura tasa de crecimiento económico. Además, los desarrollos sub-sectoriales dentro del modelo también pueden ser mejorados mediante la consulta de actores clave. En particular, el desarrollo futuro de las industrias energo intensivas como la del hierro y el acero, cemento o construcción podría ser adaptado en el modelo después de consultas por medio de entrevistas estructuradas a los actores clave de estas ramas.

Finalmente, el ejercicio destaca la importancia de mejorar la situación de la documentación, lo cual es importante por dos razones. Por una parte, la información es fundamental para entender el desarrollo pasado y modelar el desarrollo futuro. Por otra parte, la información es fundamental para monitorear la evolución de la eficiencia energética, permitiendo una evaluación del impacto de las políticas energéticas en el pasado y futuro.

En general, se vuelve evidente que la demanda energética de México seguirá creciendo y que hay potenciales de ahorro substanciales que pueden ser explotados con políticas de eficiencia adecuadas. Estas políticas deberán ser diseñadas e implementadas después de analizar la estructura de la demanda histórica y futura de manera realista y después de identificar los potenciales más prometedores sobre los cuales se deberá incidir de manera prioritaria.





# BIBLIOGRAFÍA

Castejón Botello, David, Flores López, Marco Polo, et. al (2012). “ESTUDIO DE POLÍTICAS, MEDIDAS E INSTRUMENTOS PARA LA MITIGACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DEL SECTOR TRANSPORTE EN LA ZONA CENTRO DE LA REPUBLICA MEXICANA” – disponible en:  
[http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2012\\_est\\_pol\\_mitig\\_gei\\_rm.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2012_est_pol_mitig_gei_rm.pdf)

CFE - Pagina web de consultas de tarifas de hogares de la Comisión Federal de Electricidad, disponible en:  
[http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas\\_casa.asp](http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_casa.asp)

CONAPO - Pagina web de consultas interactivas consejo nacional de población, disponible en: [http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Consultas\\_Interactivas](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Consultas_Interactivas)

Criterios Generales de Política Económica para la Iniciativa de la Ley de Ingresos y el Proyecto de Presupuesto de Egresos de la Federación correspondientes al Ejercicio Fiscal 2015 CGPE-2015; SHCP

Cruz Islas e Ignacio César (2013). “Consumption of Mexican Households” en: The Journal of Energy and Development, Vol. 38. Nos 1 and 2

DENA Página web de la Agencia Alemana de Energía - [www.dena.de](http://www.dena.de)

Eduardo Rodríguez-Oreggia y Rigoberto Ariel Yepez-García (2014). “Income and Energy Consumption in Mexican Households” – Policy Research Working Paper No. 6864, The World Bank, Latin America and the Caribbean Region, Energy Unit, May 2014 – disponible en:  
[http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2014/05/12/000158349\\_20140512162305/Rendered/PDF/WPS6864.pdf](http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2014/05/12/000158349_20140512162305/Rendered/PDF/WPS6864.pdf)

ENERDATA - Base de Datos ENERDATA Global Stat - disponible en:  
<http://www.enerdata.net/>

Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) (2014) - “National Action Plan on Energy Efficiency” - disponible en: [www.bmwi.de](http://www.bmwi.de)

Fraunhofer ISI et al (2014). "Study evaluating the current energy efficiency policy framework in the EU and providing orientation on policy options for realising the cost-effective energy efficiency/saving potential until 2020 and beyond" - Study on behalf of DG Energy/EU Commission. Disponible en: [http://www.isi.fraunhofer.de/isi-en/x/projekte/PolicyEval\\_Framework\\_331252.php](http://www.isi.fraunhofer.de/isi-en/x/projekte/PolicyEval_Framework_331252.php)

INEGI - Página web de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de Hogares - (ENIGH) - disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/encuestas/hogares/regulares/enigh/>

INEGI - Pagina web del Banco de Información Económica de INEGI - disponible en: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie>

INEGI - Página web del Sistema Municipal de Bases de Datos (SIMBAD) – disponible en: [www.sc.inegi.org.mx/cobdem](http://www.sc.inegi.org.mx/cobdem)

Instituto Nacional de Ecología SEMARNAT (2012). "Planeación de Alternativas Energéticas de Largo Plazo (LEAP) - Manual de capacitación" – disponible en: [http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2011\\_manual\\_leap.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2011_manual_leap.pdf)

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2012). "Estudio del impacto de medidas y políticas de eficiencia energética en los sectores de consumo, sobre el balance de energía y sobre los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero en el corto y mediano plazo"

McNeil, Michael (2015). - "Impacts Evaluation of Appliance Energy Efficiency Standards in Mexico since 2000" - disponible en: [www.superefficient.org](http://www.superefficient.org)

Odón de Buen, Fernando Hernández, Juan I. Navarrete (2016). "Análisis de la evolución del consumo eléctrico del sector residencial entre 1982 y 2014 e impactos de ahorro de energía por políticas públicas", Comisión Nacional para el Uso Eficiente de Energía - disponible en: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=40116733>

ODYSSEE-MURE - Base de Datos ODYSSEE-MURE - disponible en: <http://www.odyssee-mure.eu/>

Sanchez Itha y Henry Chu (2006) - ASSESSMENT OF THE IMPACTS OF STANDARDS AND LABELING PROGRAMS IN MEXICO - (FOUR PRODUCTS) - disponible en: <http://www.conuee.gob.mx/pdfs/normalizacion/EvaluaciondelosimpactosdelasnormasyprogramasdeetiquetadoenMexico.pdf>

Secretaría de Energía (SENER), Agencia Internacional de Energía (AIE), (2011) Indicadores de Eficiencia Energética en México: 2 sectores, 5 retos, disponible en: [http://www.energia.gob.mx/taller/res/1858/iee\\_mexico.pdf](http://www.energia.gob.mx/taller/res/1858/iee_mexico.pdf)

Secretaría de Energía (SENER) - Pagina web del Sistema de Información Energético de SENER - disponible en: <http://sie.energia.gob.mx/>

Secretaría de Energía (SENER) (2013) – Estrategia Nacional de Energía 2013 - 2027- disponible en: [www.sener.gob.mx](http://www.sener.gob.mx)

Secretaría de Energía (SENER) (2013) – Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018- disponible en: [www.sener.gob.mx](http://www.sener.gob.mx)

Secretaría de Energía (SENER) (2013) – Prospectiva de Petróleo Crudo y Petrolíferos 2013-2027 - disponible en: [www.sener.gob.mx](http://www.sener.gob.mx)

Secretaría de Energía (SENER) (2014) – Prospectiva de Gas Natural y Gas L.P 2014-2028 - disponible en: [www.sener.gob.mx](http://www.sener.gob.mx)

Secretaría de Energía (SENER) (2014) – Prospectiva de Petróleo Crudo y Petrolíferos 2014-2028 - disponible en: [www.sener.gob.mx](http://www.sener.gob.mx)

Secretaría de Energía (SENER) (2015) – Prospectiva de Petróleo Crudo y Petrolíferos 2015-2029 - disponible en: [www.sener.gob.mx](http://www.sener.gob.mx)

Secretaría de Energía (SENER) (2015) – Prospectiva del sector eléctrico 2015-2029 - disponible en: [www.sener.gob.mx](http://www.sener.gob.mx)

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015). World Population Prospects: The 2015 Revision, DVD Edition – disponible en: <http://esa.un.org/unpd/wpp/>



# 6. ANEXO. MODELACIÓN TOP-DOWN: PROYECCIÓN ECONOMÉTRICA POR SECTOR

## 6.1 ECUACIONES ECONOMÉTRICAS

Tabla 8:  
Parámetros de la modelación  
econométrica

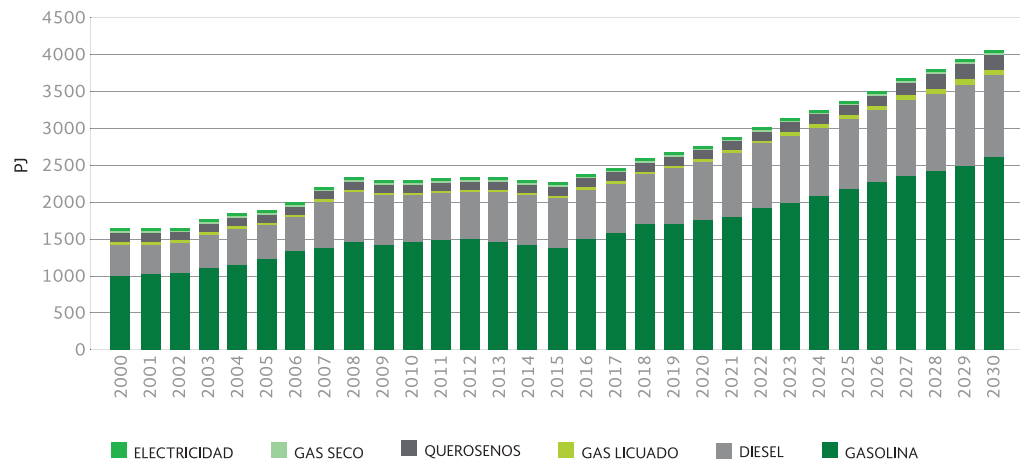
Fuente: Modelación propia.

	REGRESOR	COEFICIENTE	ERROR ESTÁNDAR	T-RATIO [PROB. ]	R <sup>2</sup>
TRANSPORTE	POIL	4.962	0.8958	5.5392[.000]	0.97121
	GDP	0.001092	9.60E-05	11.3795[.000]	
	CONSTANT	191.8005	88.2444	2.1735[.041]	
INDUSTRIAL	GDP	0.0005868	0.00004969	11.8092[.000]	0.86
	CONSTANT	596.2381	62.5093	9.5384[.000]	
RESIDENCIAL	LGDP	130.9195	16.7451	7.8184[.000]	0.74
	CONSTANT	-1107	235.0955	-4.7085[.000]	
COMERCIAL	GDP	0.6609	0.000004622	14.2996[.000]	0.91
	CONSTANT	31.0816	6.0073	5.1740[.000]	
AGROPECUARIO	LGDP	87.9811	14.4107	6.1052[.000]	0.91
	POIL2	0.38825	0.10185	3.8122[.001]	
	CONSTANT	-1132.4	198.713	-5.6986[.000]	

## 6.2 SECTOR TRANSPORTE

**Figura 32:**  
Consumo final de energía  
por tipo de combustible  
en el sector transporte

Fuente: Sistema de Información  
Energética de SENER (valores  
históricos).



**Tabla 9:**  
Consumo final de energía  
por tipo de combustible  
en el sector transporte

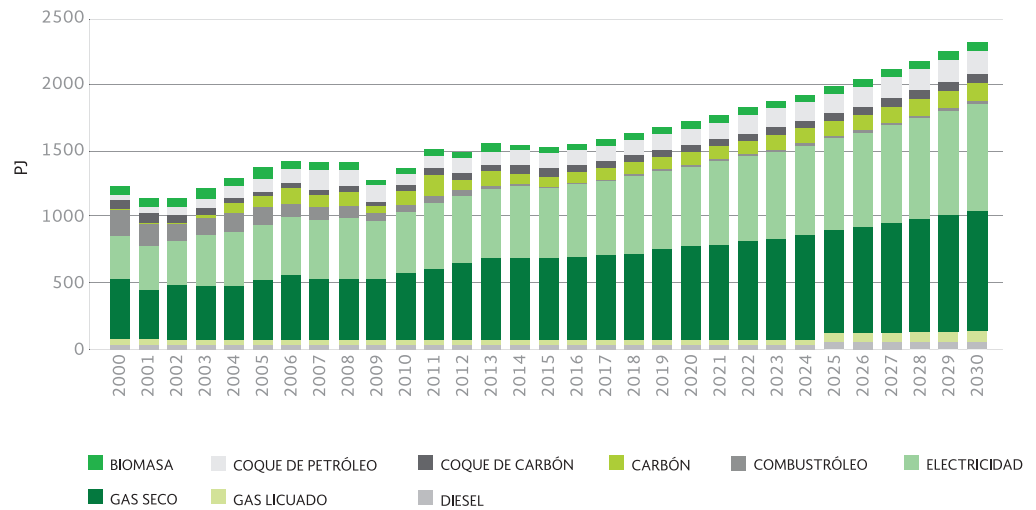
Fuente: Sistema de Información  
Energética de SENER (valores  
históricos).

	UNIDAD	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
GASOLINA	PJ	1,039.64	1,233.74	1,448.12	1,440.50	1,798.35	2,188.06	2,617.24
DIESEL	PJ	434.91	516.11	605.78	604.48	752.55	915.63	1,095.23
GAS LICUADO	PJ	38.66	45.88	53.85	53.73	66.89	81.39	97.35
QUEROSEOS	PJ	96.65	114.69	134.62	134.33	167.23	203.47	243.38
GAS SECO	PJ	0.60	0.71	0.83	0.83	1.03	1.25	1.50
ELECTRICIDAD	PJ	0.29	0.34	0.40	0.40	0.49	0.60	0.72
COMBUSTÓLEO	PJ	0.04	0.05	0.05	0.54	0.67	0.81	0.97
<b>TOTAL</b>	<b>PJ</b>	<b>1,610.77</b>	<b>1,911.50</b>	<b>2,243.65</b>	<b>2,238.80</b>	<b>2,787.22</b>	<b>3,391.22</b>	<b>4,056.40</b>

### 6.3 SECTOR INDUSTRIAL

**Figura 33:**  
Consumo final de energía  
por tipo de combustible  
en el sector industrial

Fuente: Sistema de Información  
Energética de SENER (valores  
históricos).



**Tabla 10:**  
Consumo final de energía  
por tipo de combustible  
en el sector industrial

Fuente: Sistema de Información  
Energética de SENER (valores  
históricos).

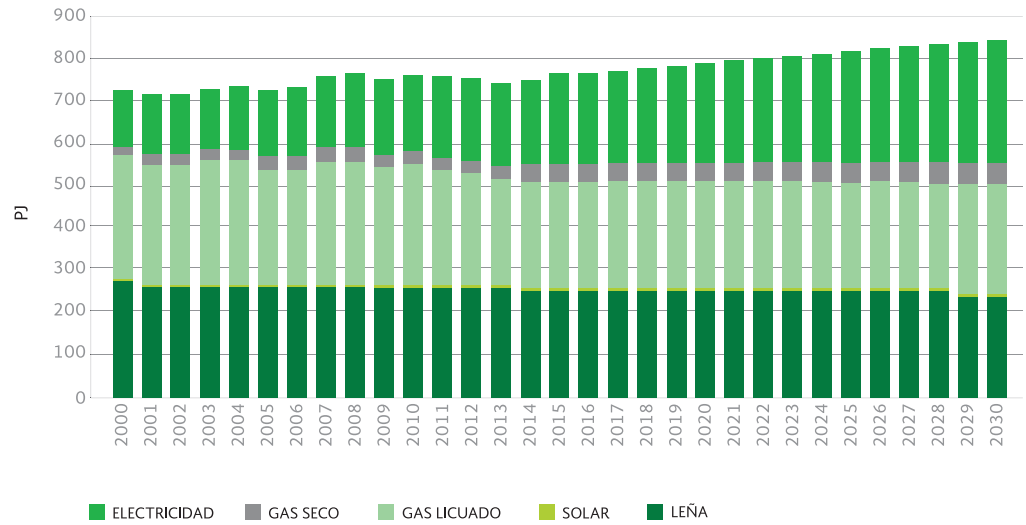
	UNIDAD	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
DIESEL	PJ	49.04	49.72	50.80	62.05	70.10	80.82	93.90
GAS LICUADO	PJ	41.66	37.93	43.52	46.54	52.57	60.61	70.43
GAS SECO	PJ	457.87	446.03	488.10	620.55	700.99	808.15	939.03
ELECTRICIDAD	PJ	333.56	429.59	477.76	527.47	595.84	686.93	798.17
COMBUSTÓLEO	PJ	195.49	133.29	55.99	0.37	0.42	0.48	0.56
CARBÓN	PJ	-	75.24	94.27	77.57	87.62	101.02	117.38
COQUE DE CARBÓN	PJ	72.41	47.50	62.82	62.05	70.10	80.82	93.90
COQUE DE PETRÓLEO	PJ	34.89	83.70	80.58	93.08	105.15	121.22	140.85
BIOMASA	PJ	83.50	86.94	47.32	61.68	69.68	80.33	93.34
<b>TOTAL</b>	<b>PJ</b>	<b>1,270.04</b>	<b>1,391.84</b>	<b>1,403.31</b>	<b>1,551.37</b>	<b>1,752.48</b>	<b>2,020.38</b>	<b>2,347.56</b>



## 6.4 SECTOR RESIDENCIAL

**Figura 34:**  
Consumo final de energía  
por tipo combustible  
en el sector residencial

Fuente: Sistema de Información  
Energética de SENER (valores  
históricos).



**Tabla 11:**  
Consumo final de energía  
por tipo de combustible  
en el sector residencial

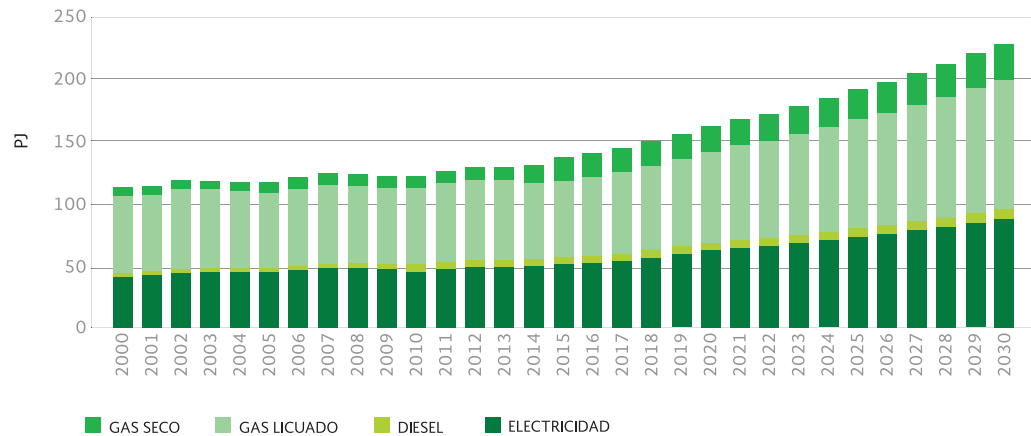
Fuente: Sistema de Información  
Energética de SENER (valores  
históricos).

	UNIDAD	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
LEÑA	PJ	284.98	266.43	259.31	255.72	252.47	249.17	245.01
SOLAR	PJ	1.02	1.19	2.84	4.63	4.98	5.36	5.75
GAS LICUADO	PJ	292.78	274.99	292.53	259.07	257.41	255.82	253.46
GAS SECO	PJ	20.98	34.01	31.56	42.49	45.91	49.59	53.40
ELECTRICIDAD	PJ	130.06	153.11	177.87	203.58	229.74	257.86	287.26
<b>TOTAL</b>	<b>PJ</b>	<b>731.17</b>	<b>731.21</b>	<b>765.29</b>	<b>765.50</b>	<b>790.52</b>	<b>817.80</b>	<b>844.87</b>

## 6.5 SECTOR COMERCIAL

**Figura 35:**  
Consumo final de energía  
por tipo de combustible  
en el sector comercial

Fuente: Sistema de Información  
Energética de SENER (valores  
históricos).



**Tabla 12:**  
Consumo final de energía  
por tipo de combustible  
en el sector comercial

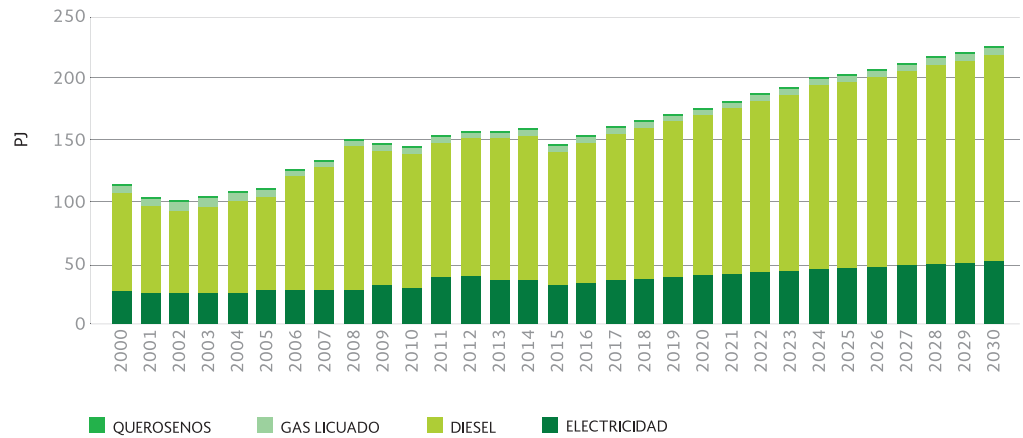
Fuente: Sistema de Información  
Energética de SENER (valores  
históricos).

	UNIDAD	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
ELECTRICIDAD	PJ	42.09	47.09	47.30	52.27	60.81	72.19	86.08
DIESEL	PJ	2.48	2.35	3.72	4.58	5.32	6.32	7.53
GAS LICUADO	PJ	63.27	60.54	62.95	63.78	74.20	88.08	105.03
GAS SECO	PJ	6.86	8.06	9.80	18.03	20.97	24.89	29.68
<b>TOTAL</b>	<b>PJ</b>	<b>115.38</b>	<b>118.84</b>	<b>125.57</b>	<b>138.66</b>	<b>161.31</b>	<b>191.48</b>	<b>228.33</b>

## 6.6 SECTOR AGROPECUARIO

**Figura 36:**  
Consumo final de energía  
por tipo combustible  
en el sector agropecuario

Fuente: Sistema de Información  
Energética de SENER (valores  
históricos).



**Tabla 13:**  
Consumo final de energía  
por tipo de combustible  
en el sector agropecuario

Fuente: Sistema de Información  
Energética de SENER (valores  
históricos).

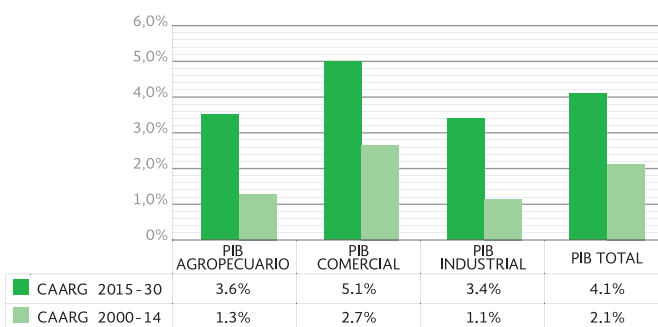
	UNIDAD	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
ELECTRICIDAD	PJ	26.09	25.29	33.06	33.27	40.18	46.21	51.34
DIESEL	PJ	84.84	82.25	107.51	108.20	130.67	150.29	166.95
GAS LICUADO	PJ	4.39	4.25	5.56	5.59	6.76	7.77	8.63
GAS SECO	PJ	0.12	0.11	0.15	0.15	0.18	0.20	0.23
<b>TOTAL</b>	<b>PJ</b>	<b>115.43</b>	<b>111.91</b>	<b>146.28</b>	<b>147.21</b>	<b>177.79</b>	<b>204.47</b>	<b>227.15</b>

# 7. ANEXO. MODELACIÓN DEL SECTOR INDUSTRIAL

## 7.1 SUPUESTOS ECONÓMICOS

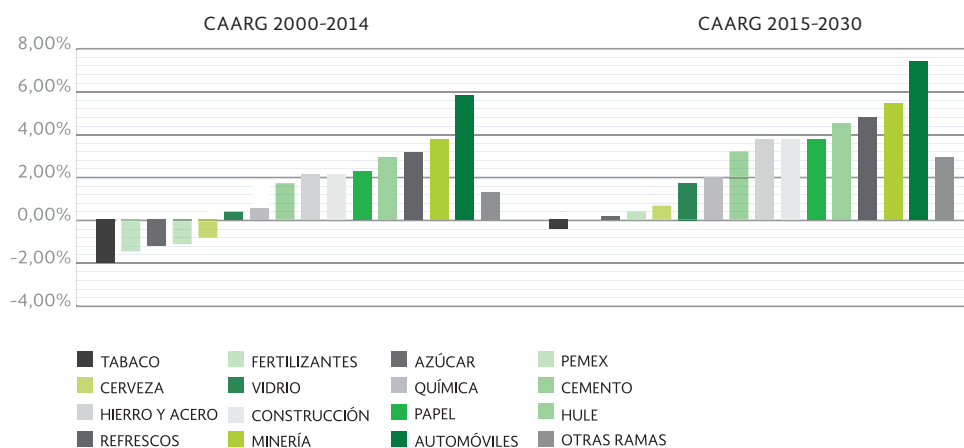
**Figura 37:**  
Tasas de crecimiento del PIB  
históricas y futuras

Fuente: Base de datos ENERDATA (valores históricos), elaboración propia para valores futuros basada en PRODESEN-SENER.



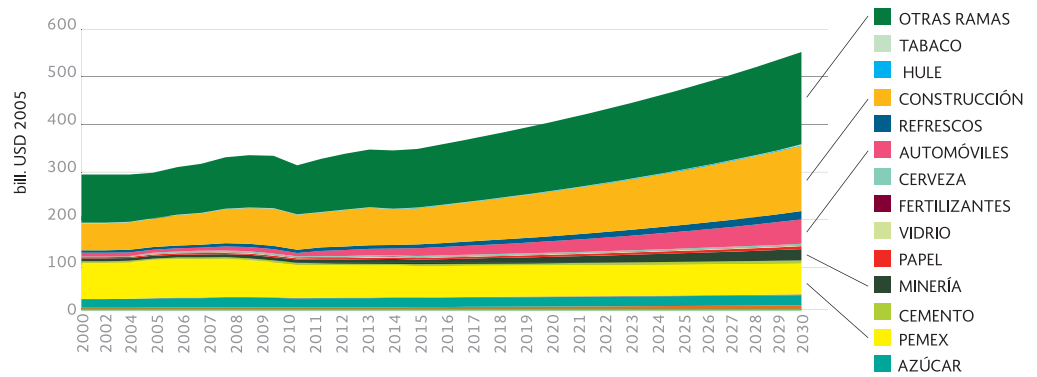
**Figura 38:**  
Tasas de crecimiento de las  
ramas del valor agregado  
industrial históricas

Fuente: Banco de Información Económica de INEGI (valores históricos), elaboración propia para valores futuros.



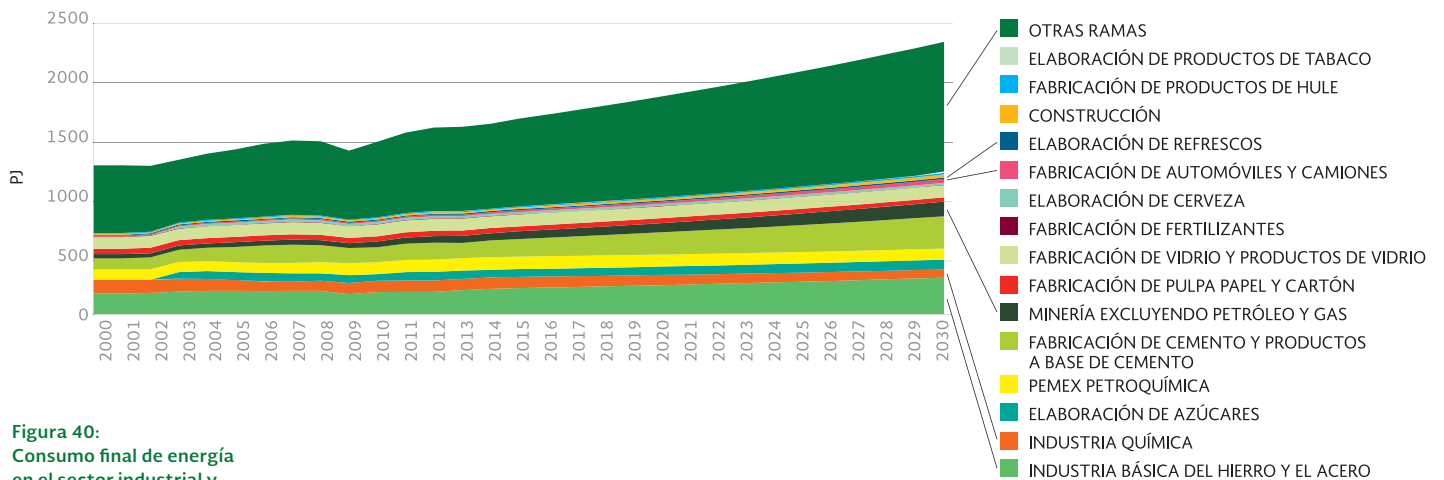
**Figura 39:**  
Valor agregado de la industria en billones de dólares de 2005 y su distribución en las industrias analizadas

Fuente: Banco de Información Económica de INEGI (valores históricos), elaboración propia para valores futuros.



## 7.2 RESULTADOS

### CONSUMO FINAL EN LA INDUSTRIA



**Figura 40:**  
Consumo final de energía en el sector industrial y su distribución en las ramas analizadas

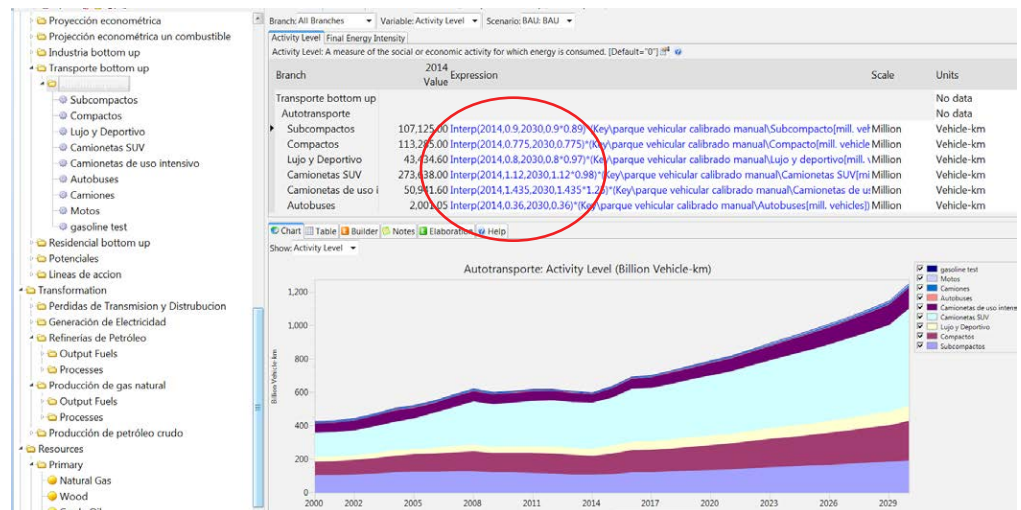
Fuente: Elaboración propia.

# 8. ANEXO.

## SECTOR TRANSPORTE

### 8.1 SUPUESTOS DEL PARQUE VEHICULAR

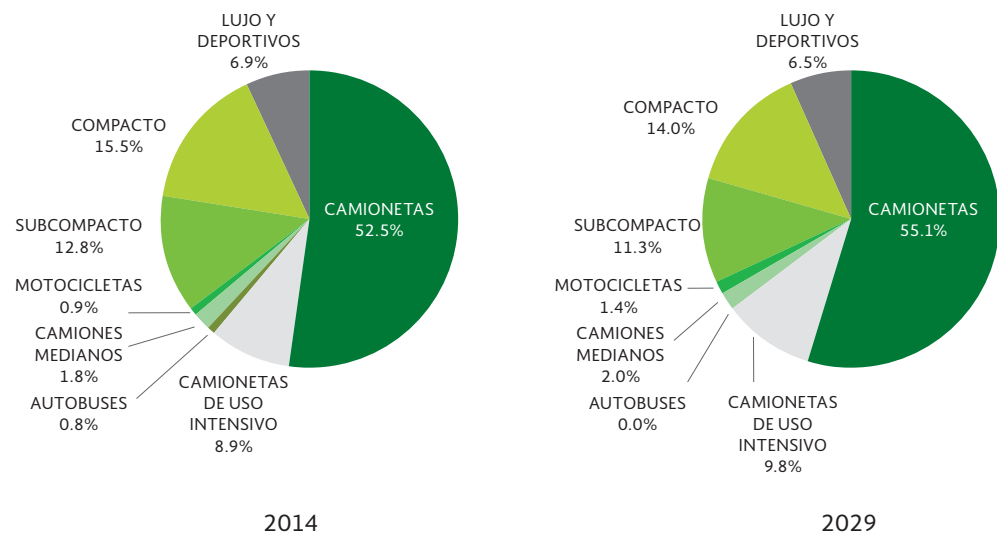
**Figura 41:**  
Captura de pantalla de LEAP mostrando los factores de calibración utilizados para armonizar el modelo de LEAP con la demanda de gasolinas automotrices por segmento de acuerdo a la prospectiva de petróleos y petrolíferos de SENER



Fuente: Elaboración propia.

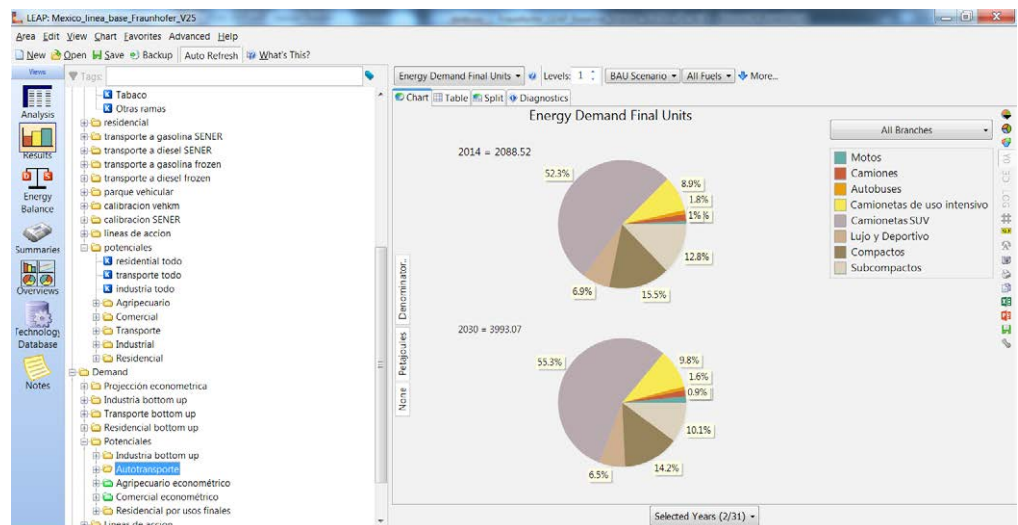
**Figura 42:**  
Distribución de demanda de gasolinas por tipo de vehículo según SENER

Fuente: Prospectiva de petróleos y petrolíferos 2015-2029 (SENER 2015).



**Figura 43:**  
Pantalla de LEAP mostrando cómo la demanda de combustibles en el sector de autotransporte fue calibrada con la perspectiva de SENER

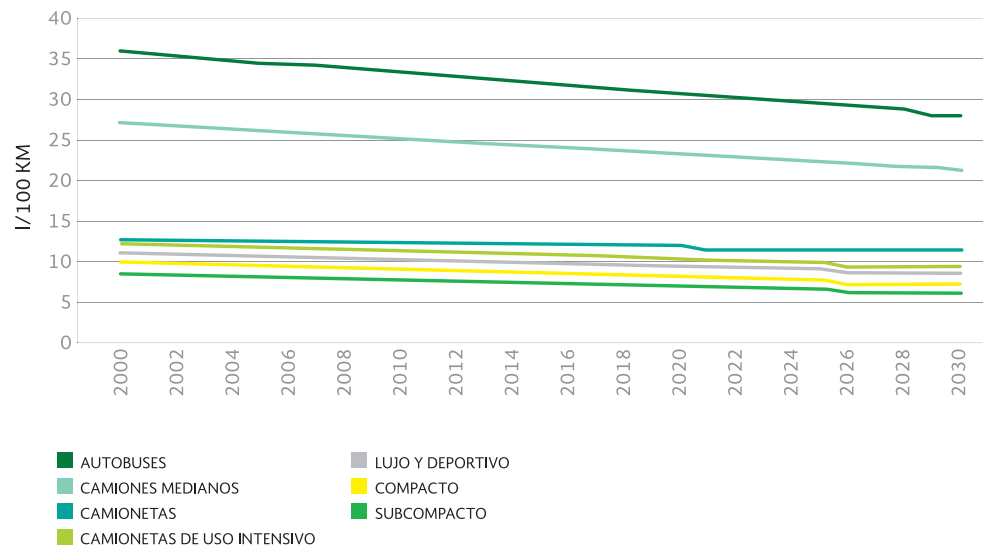
Fuente: Elaboración propia.



## 8.2 RESULTADOS

**Figura 44:**  
Consumo final de energía en el sector industrial y su distribución en las ramas analizadas

Fuente: Elaboración propia.





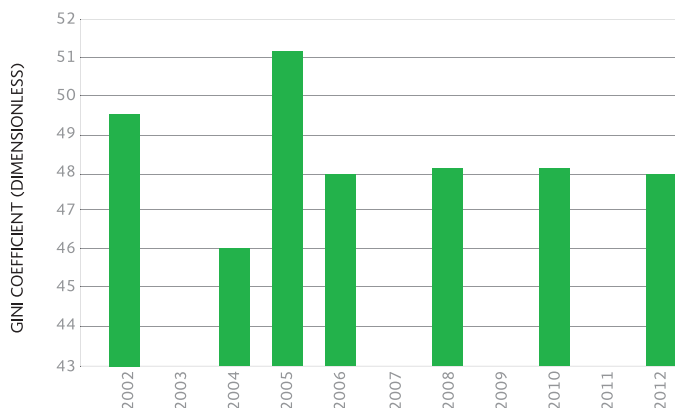
# 9. ANEXO.

## SECTOR RESIDENCIAL

### 9.1 SUPUESTOS ECONÓMICOS

**Figura 45:**  
Desarrollo del coeficiente  
GINI desde el 2002

Fuente: INEGI, ENIGH  
2002-2012.



**Figura 46:**  
Tarifas eléctricas para el mes  
de junio 2006 y 2015

Fuente: CFE 2015.

	2006 BLOQUE DE CONSUMO (DE IZQUIERDA A DERECHA) EN kWh			
	BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III	BLOQUE IV
1	75	50	-	EXCEDENTE
1A	100	50	-	EXCEDENTE
1B	125	75	-	EXCEDENTE
1C	150	300	-	EXCEDENTE
1D	175	425	-	EXCEDENTE
1E	300	600	-	EXCEDENTE
1F	300	900	1300	EXCEDENTE

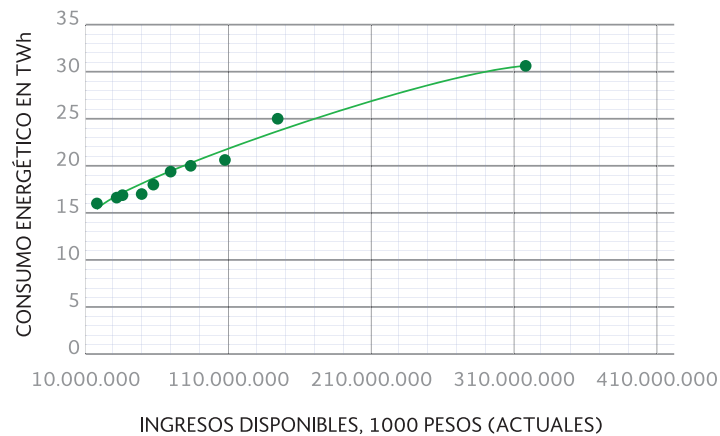
2015 BLOQUE DE CONSUMO (DE IZQUIERDA A DERECHA) EN EN kWh				
	BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III	BLOQUE IV
1	75	65	-	EXCEDENTE
1A	100	50	-	EXCEDENTE
1B	125	100	-	EXCEDENTE
1C	150	150	150	EXCEDENTE
1D	175	225	200	EXCEDENTE
1E	300	450	150	EXCEDENTE
1F	300	900	1300	EXCEDENTE

2006 PRECIO EN PESOS CORRESPONDIENTE A CADA BLOQUE (PESOS)				
	BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III	BLOQUE IV
1	0.609	1.004	-	2.122
1A	0.529	0.794	-	2.122
1B	0.529	0.794	-	2.122
1C	0.529	0.794	-	2.122
1D	0.529	0.794	-	2.122
1E	0.435	0.717	-	2.122
1F	0.435	0.56	1.336	2.122

	2006 PRECIO EN PESOS CORRESPONDIENTE A CADA BLOQUE (PESOS)			
	BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III	BLOQUE IV
1	0.809	0.976	-	2.859
1A	0.711	0.839	-	2.859
1B	0.711	0.839	-	2.859
1C	0.711	0.839	1.071	2.859
1D	0.711	0.839	1.071	2.859
1E	0.595	0.741	0.967	2.859
1F	0.595	0.741	1.804	2.859

**Figura 47:**  
Consumo energético por decil  
de ahorro de energía eléctrica

Fuente: propia elaboración  
basado en SENER y ENIGH  
2006.



**Tabla 14:**  
Programas con efecto  
de ahorro de energía eléctrica  
en el sector residencial

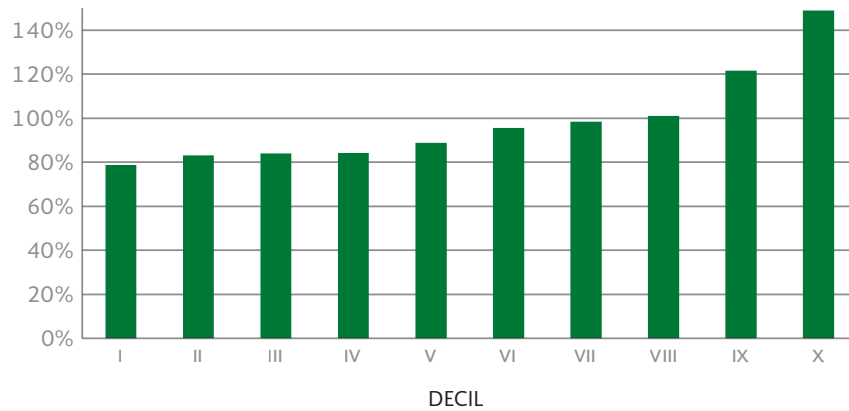
Fuente: Odón de Buen,  
Fernando Hernández, Juan I.  
Navarrete (2016). "Análisis  
de la evolución del consumo  
eléctrico del sector residencial  
entre 1982 y 2014 e impactos  
de ahorro de energía por  
políticas públicas", Comisión  
Nacional para el Uso Eficiente  
de Energía.

NO	PROGRAMA	DESCRIPCIÓN	ALCANCE
1	FIPATERM	Aislamiento térmico de viviendas	Desde 1990 se han realizado más de 100 mil acciones, fundamentalmente en Mexicali, BC
2	ILUMEX	Cambio de lámparas incandescentes por fluorescentes compactas	Entre 1993 y 1996 se cambiaron más de 2.3 millones de lámparas en Guadalajara y Monterrey
3	PROGRAMA DEL FIDE	Cambio de lámparas incandescentes por fluorescentes compactas	Entre 1996 y 2006 se cambiaron más de 10 millones de lámparas en las zonas de operación de CFE
4	NORMAS OFICIALES MEXICANAS	Características obligatorias de desempeño energético para equipos eléctricos que se usan en las viviendas	A partir de 1996 han entrado en vigor 10 NOM que aplican a equipos de refrigeración, iluminación, acondicionamiento de aire, bombeo de agua, lavado de ropa y energía en espera

5	TARIFA DOMÉSTICA DE ALTO CONSUMO	Tarifa sin subsidio a usuarios del sector residencial	A partir de 2002 entró en vigor y se aplica a más de medio millón de usuarios domésticos en todo el país
6	HIPOTECA VERDE	Financiamiento para medidas de ahorro de energía en vivienda nueva	Desde 2008 ha venido aplicándose con medidas como lámparas fluorescentes compactas y aislamiento térmico de envolvente
7	LUZ SUSTENTABLE	Cambio de lámparas incandescentes por fluorescentes compactas	Entre 2011 y 2012 se regalaron en todo el país cerca de 46 millones de lámparas fluorescentes compactas
8	PROGRAMA DE SUSTITUCIÓN DE EQUIPOS ELECTRODOMÉSTICOS	Cambio de refrigeradores y equipos de acondicionamiento de aire	Entre 2009 y 2012 se cambiaron en todo el país cerca de 1.9 millones de equipos, principalmente refrigeradores

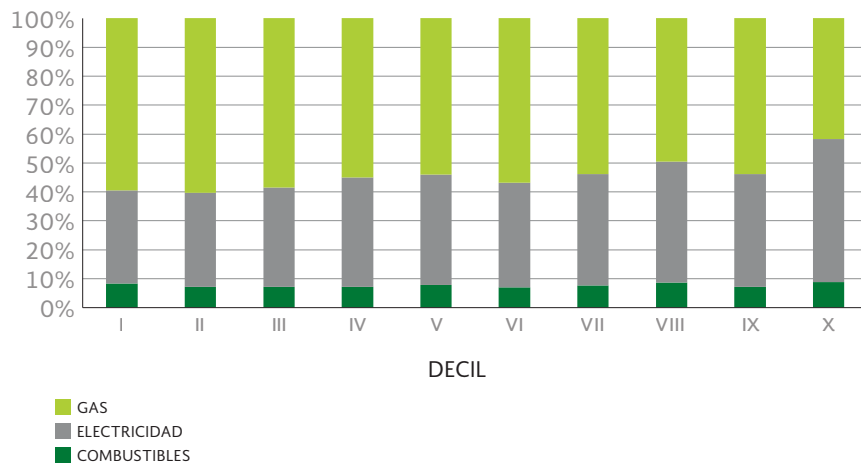
**Figura 48: Análisis del consumo por decil relativo al promedio de todos los deciles**

Fuente: Elaboración propia basada en INEGI –ENIGH 2006



**Figura 49: Análisis de la distribución de gas, electricidad y otros combustibles por decil**

Fuente: Elaboración propia basada en INEGI –ENIGH 2006.

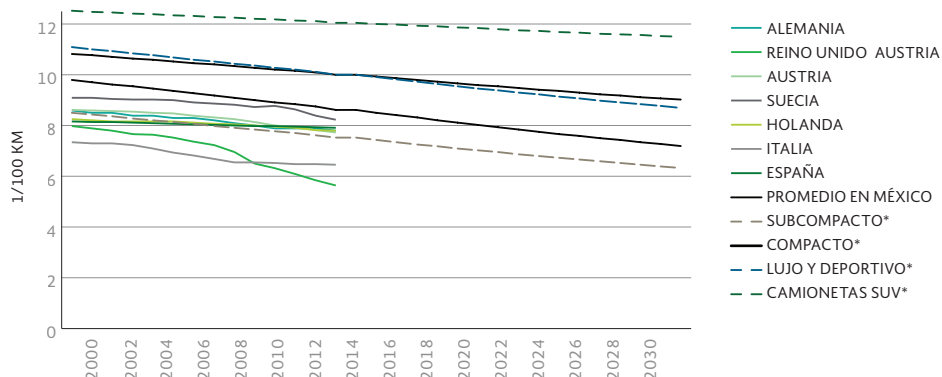


# 10. ANEXO. POTENCIALES

## 10.1 POTENCIALES TEÓRICOS A LARGO PLAZO

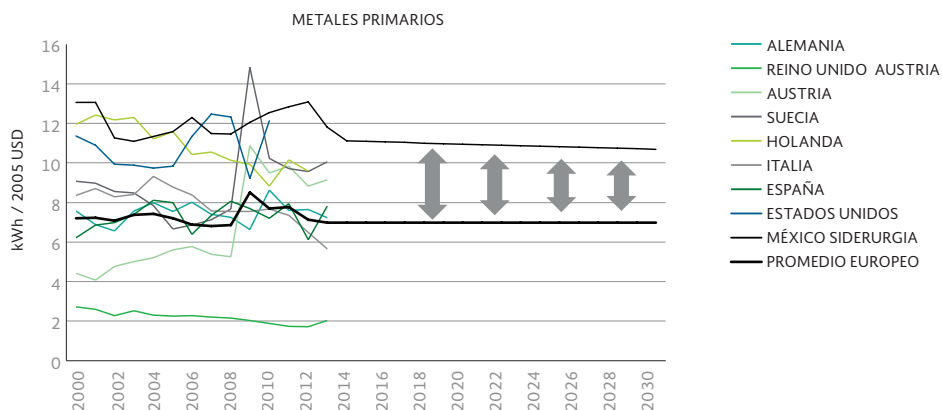
**Figura 50: Eficiencia promedio del transporte de personas en México y países europeos**

Fuente: Elaboración propia basada en ODYSSEE-MURE y SENER



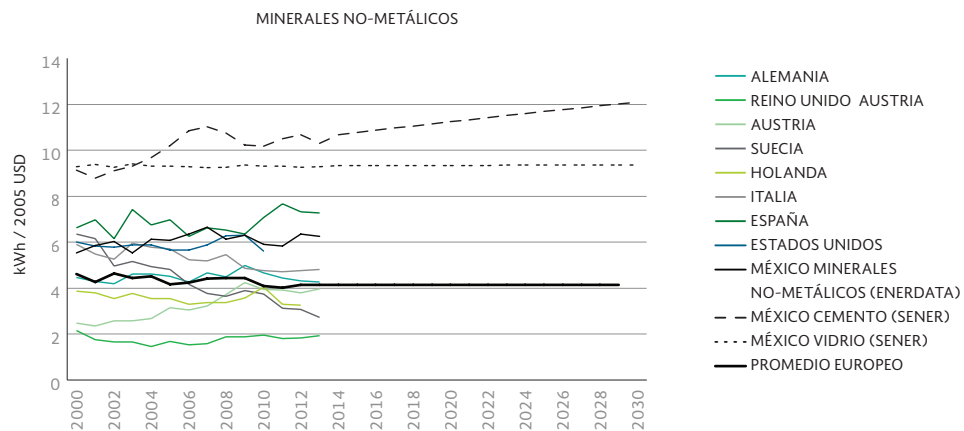
**Figura 51: Eficiencia promedio del sector de metales primarios con base en el valor agregado para países europeos**

Fuente: Elaboración propia basada en ODYSSEE-MURE y SENER



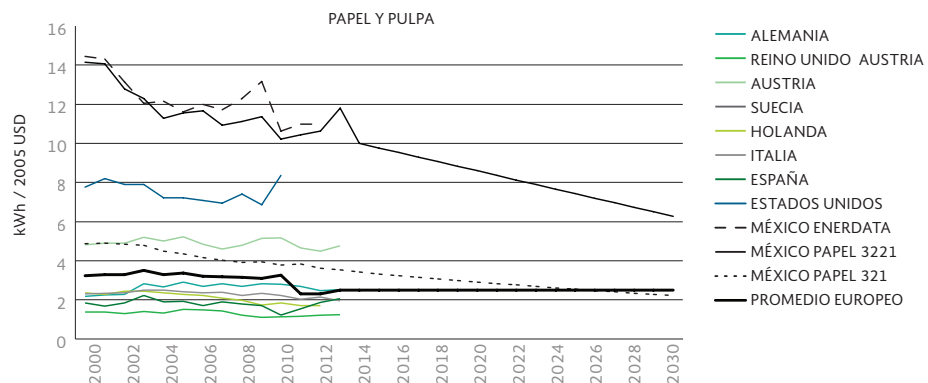
**Figura 52: Eficiencia promedio del sector de minerales no metálicos con base en el valor agregado para países europeos**

Fuente: Elaboración propia basada en ODYSSEE-MURE y SENER.



**Figura 53: Eficiencia promedio del sector papel para basada en valor agregado para países europeos**

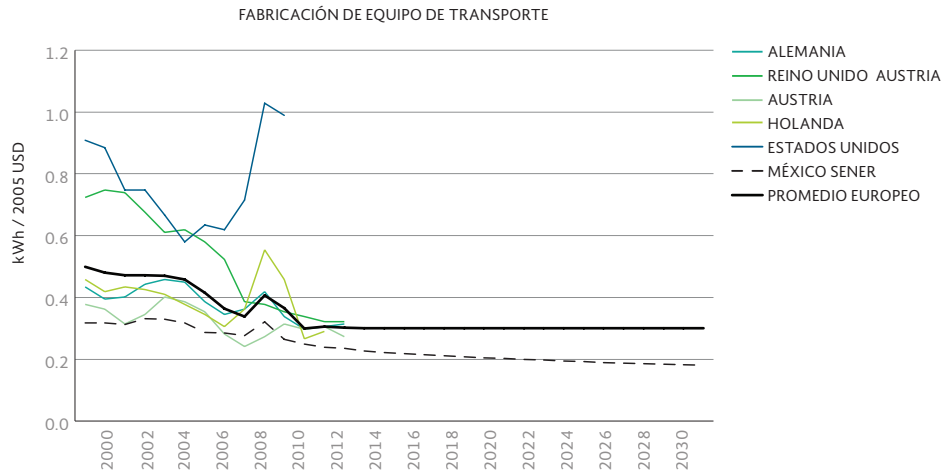
Fuente: Elaboración propia basada en ODYSSEE-MURE y SENER.



NOTA: LA CATEGORÍA "MÉXICO SENER 3221" SE REFIERE AL CONSUMO ENERGÉTICO SEGÚN SENER PARA EL SECTOR 3221 DEL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN INDUSTRIAL DE AMÉRICA DEL NORTE. POR SU PARTE, LA CATEGORÍA "MÉXICO SENER 321 SE REFIERE AL SECTOR 321 DE DICHO SISTEMA DE CLASIFICACIÓN)

**Figura 54: Eficiencia promedio del sector de la fabricación de equipo de transporte basada en valor agregado para países europeos**

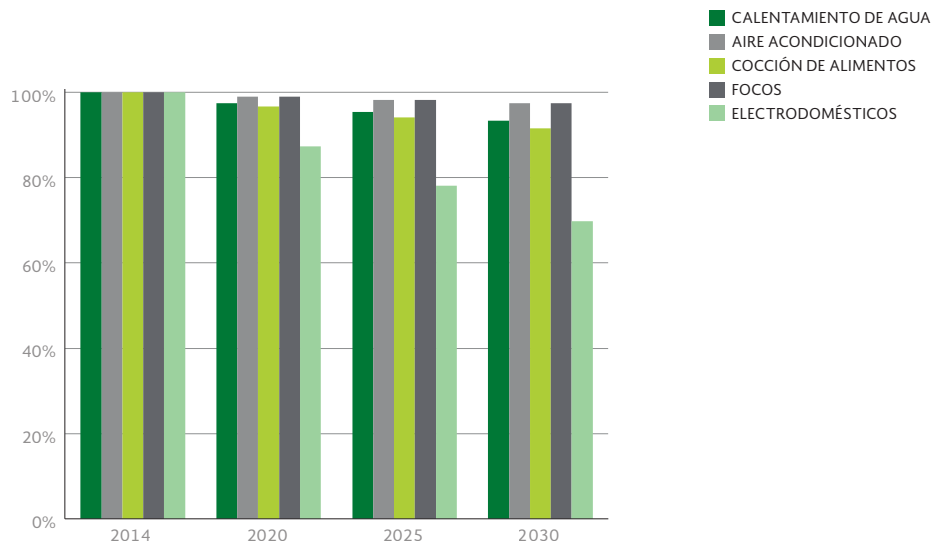
Fuente: ODYSSEE-MURE para países europeos, cálculo propio basado en ENERDATA e INEGI para México.



## 10.2 POTENCIALES TEÓRICOS A MEDIANO PLAZO EN UN MARCO DE POLÍTICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE ALTA INTENSIDAD (HPI)

**Figura 55: Potenciales en el sector residencial.**

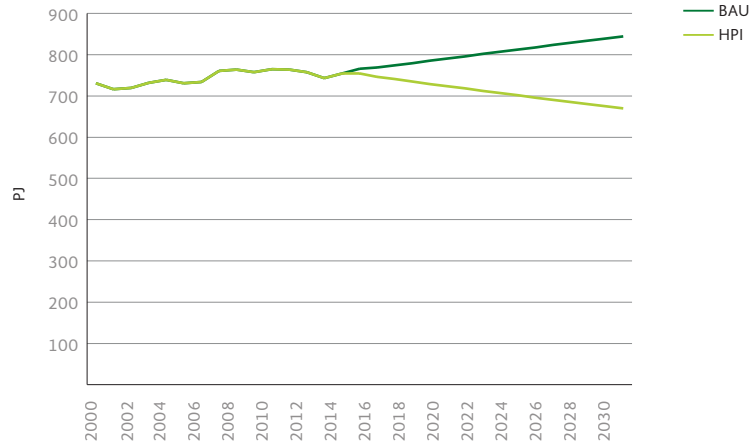
Fuente: Elaboración propia basada en Fraunhofer-ISI (2014).





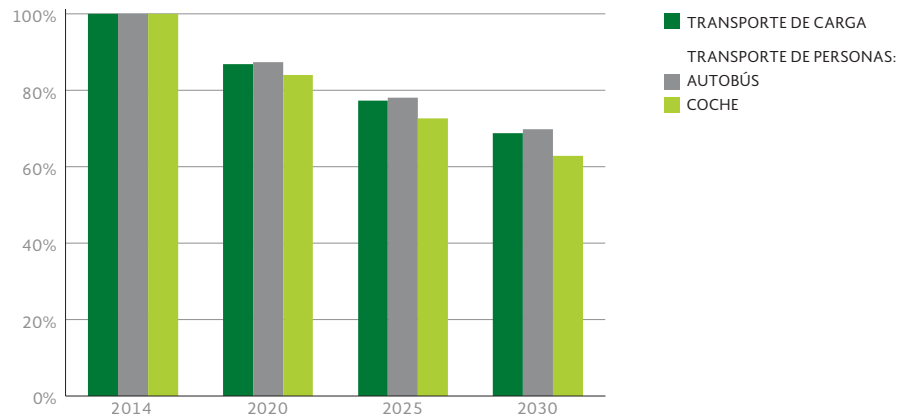
**Figura 56: Potenciales teóricos a mediano plazo en un marco de políticas de eficiencia energética de alta intensidad (HPI).**

Fuente: Elaboración propia basada en Fraunhofer-ISI (2014).



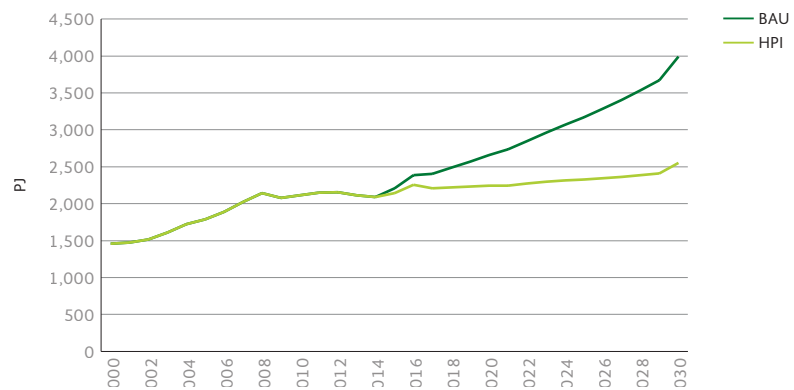
**Figura 57: Potenciales en el sector de transporte**

Fuente: elaboración propia basada en Fraunhofer-ISI (2014).



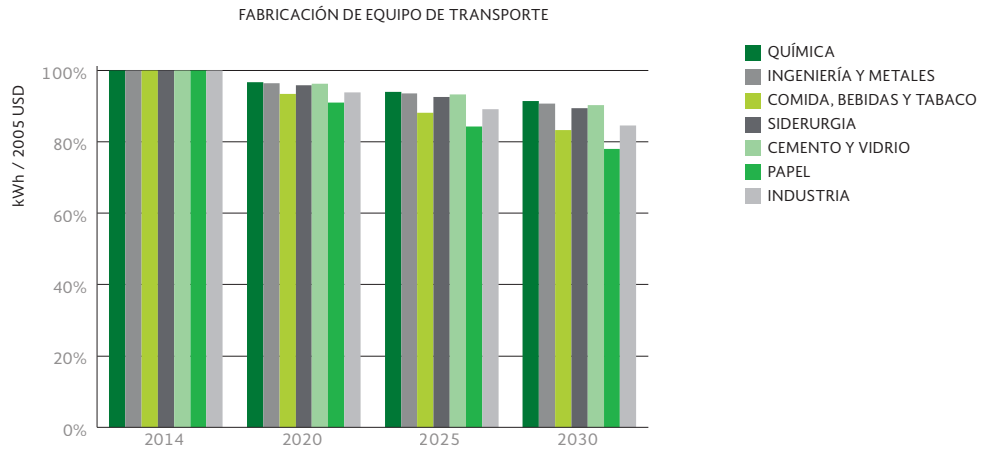
**Figura 58: Potenciales en el sector de transporte**

Fuente: elaboración propia basada en Fraunhofer-ISI (2014).



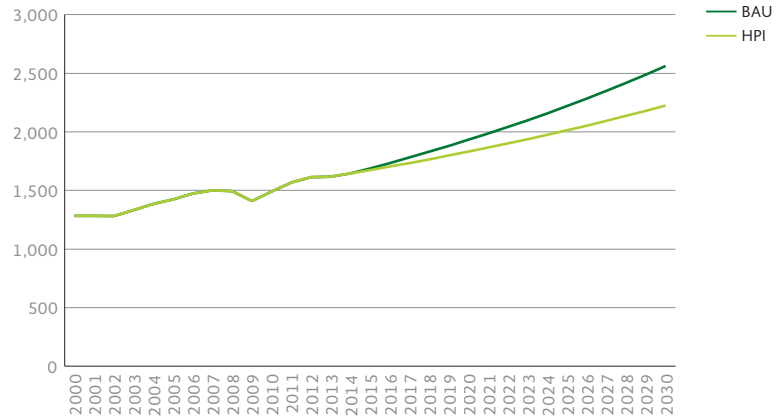
**Figura 59: Potenciales en el sector industrial**

Fuente: Elaboración propia basada en ODYSSEE-MURE y SENER



**Figura 60: Potenciales en el sector industrial**

Fuente: elaboración propia basada en Fraunhofer-ISI (2014).





# 11. ANEXO.

## EJEMPLOS EXITOSOS DE AHORRO DE ENERGÍA

Las industrias energo intensivas tienen una limitación inherente respecto al ahorro máximo de energía posible, dado que los procesos requieren una cantidad de energía por unidad producida. Por ello, existe un coeficiente de eficiencia energética teórico que no puede ser superado. No obstante, en la práctica, las empresas energo intensivas suelen estar muy lejos de alcanzar el grado máximo posible de eficiencia energética. En Alemania, la Agencia Alemana de Energía (*Deutsche Energie Agentur - dena*) otorga anualmente premios a las empresas con mejores prácticas de eficiencia energética. Estos premios demuestran que siempre existen ideas innovadoras y potenciales de ahorro de eficiencia energética, incluso en industrias cuyos potenciales aparentan ser limitados. En breve se presentarán ejemplos de medidas de eficiencia energética y sus correspondientes impactos en empresas alemanas, las cuales fueron premiadas por la Agencia Alemana de Energía en años recientes.

### 11.1 ALUMINIUM NORF GMBH

#### CONTEXTO

Aluminium Norf GmbH es una empresa que obtuvo el premio de eficiencia energética de 2014 de la Agencia Alemana de Energía. Siendo una empresa en el ámbito de la fabricación de aluminio y productos de aluminio, el premio fue otorgado por la optimización de procesos en la industria metalúrgica. Aluminium Norf GmbH se enfocó en mover bobinas de aluminio que llevan el calor del proceso de laminación sin pérdida de temperatura, para su posterior procesamiento en hornos. La práctica previa consistía en enfriar las bobinas a una temperatura menor a 60 grados centígrados, las cuales habían sido previamente calentadas en el proceso y posteriormente, en condiciones de proceso más seguro, calentarlas de nuevo a una temperatura de 480 grados centígrados. Para disminuir las pérdidas energéticas del proceso, la empresa estableció un concepto de planta nunca aplicado anteriormente en la industria. Se dio cuenta de la posibilidad y beneficios de la utilización de un horno de recocido con precalentamiento de gas, combinado con un concepto de control primario. El estado térmico de cada bobina de aluminio es ahora controlado por computadora, junto con la operación eficiente de la energía de los hornos, los cuales operan con quemadores individuales en distintas zonas. El sistema incluye la constante medición de la temperatura para operar de manera eficiente los quemadores del horno.

## MEDIDAS SELECCIONADAS

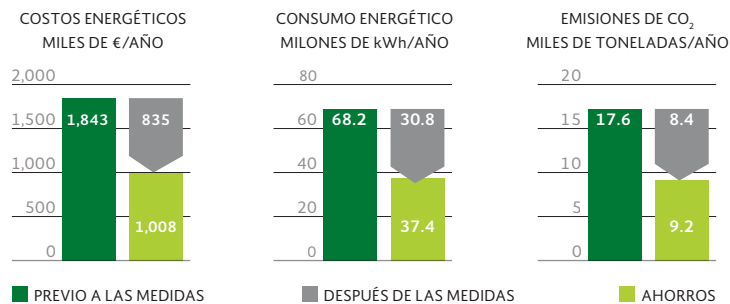
- Utilización del calor residual del proceso de laminación (uso de bobinas en caliente)
- Precalentamiento con la ayuda de gases de escape
- Control computarizado para cada bobina de aluminio
- Equipaje de todos los ventiladores y sopladores con controles de velocidad
- Sellar y aislar los hornos

## RESULTADOS

AHORROS	
Porcentaje	45%
Reducción del uso de energía	30.8 million kWh / año
Reducción costos energéticos	€ 835,000 / año
Inversión	€ 7.6 millones
Retorno de la inversión	11%

**Figura 61: Impactos de medidas de eficiencia energética en Aluminium Norf GmbH**

Fuente: Ilustración adaptada de los premios de eficiencia energética DENA (DENA Energy Efficiency Awards 2014).



## 11.2 SALZGITTER FLACHSTAHL GMBH

### CONTEXTO

Salzgitter Flachstahl es un fabricante internacional de productos de acero que ganó el premio de eficiencia energética en 2012 de la Agencia Alemana de Energía. La empresa produce en la ciudad alemana Salzgitter, en donde está ubicada la mayor planta de operación de la empresa *Salzgitter AG flat steel products*. En 2012, 4,800 empleados produjeron alrededor de 4.5 millones de toneladas de acero bruto y generaron un volumen de ventas de 2.8 mil millones de Euros. Con el fin de establecer una administración estructurada respecto a las medidas de eficiencia energética individuales, se estableció una base de datos en la que se incluyeron y se describen todas las ideas y medidas del proyecto, nombrado “*EE EnergyEfficiency*”. A través de esta base de datos, el personal se mantuvo permanentemente informado sobre el progreso del proyecto y motivado a través de poder contribuir con ideas propias. En 2013, un total de 234 medidas de eficiencia energética fueron integradas en la base de datos y 118 han sido puestos en práctica.

## MEDIDAS SELECCIONADAS

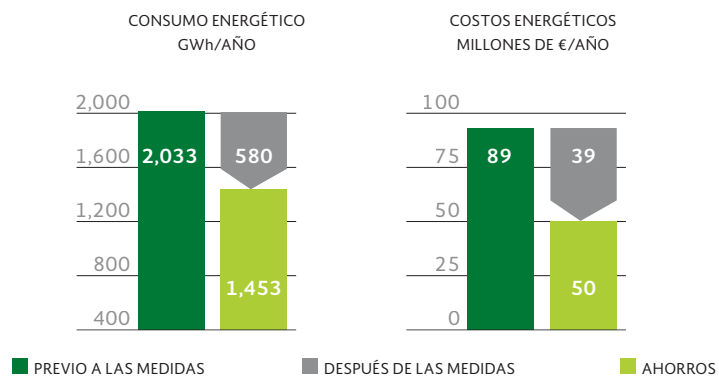
- Uso de oxígeno puro para reducir el uso de combustibles en hornos.
- La renovación del reglamento para la calefacción de las instalaciones que fabrican productos planos.
- Uso de recuperadores en procesos de alta temperatura.
- Modernización de la central eléctrica del horno de gas.
- Optimización de la desconexión de las plantas mientras estén inactivas.
- Ejecución de cintas transportadoras en función de la necesidad.
- Introducción de convertidores de frecuencia para optimizar el uso del motor
- Optimización del sistema de aire comprimido y la iluminación de las instalaciones de producción.

## RESULTADOS

AHORROS	
Medidas de eficiencia energética	580 GWh / año
Gas adicional obtenido	316 GWh / año
Total de ahorros energéticos	896 GWh / año
Porcentaje de ahorros energéticos	29%
Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub>	238,063 t / año
Reducción costos energéticos	€ 38.8 millones/ año
Inversión	€ 268.6 millones
Retorno de la inversión	14 % anual

Figura 62: Impactos de medidas de eficiencia energética en Salzgitter Flachstahl GmbH

Fuente: Ilustración adaptada de los premios de eficiencia energética DENA (DENA Energy Efficiency Awards 2014).



## 11.3 HARTING

Harting es una empresa alemana que ganó el premio de eficiencia energética en el año 2012 otorgado por la Agencia Alemana de Energía. En el año 2010/2011, la empresa familiar facturó un volumen de 481 millones de euros en ingresos. Desde el año 2001, HARTING ha operado un sistema de gestión de energía para analizar y optimizar todos los equipos consumidores de energía. Se basa en un sistema de gestión de la energía en toda la empresa que fue certificado según la norma DIN EN ISO

50001 de enero de 2012.

### MEDIDAS SELECCIONADAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

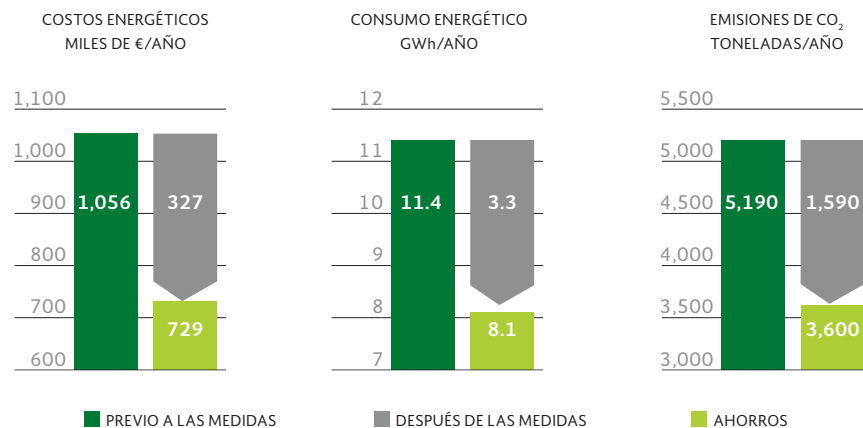
- Instalación de un sistema de gestión de la energía en toda la empresa
- Las calderas de condensación operan adecuadas a la demanda, el quemador de NOx es de bajo consumo, las bombas de circulación operan con control de velocidad en la sala de calderas.
- Reemplazo a un 100 por ciento a un suministro de biometano.
- Instalación de sistemas de recuperación de calor en los generadores de aire comprimido y en el sistema de ventilación de las instalaciones de galvanoplastia.
- Optimización sistemática de generación de aire comprimido.
- El suministro de refrigeración es de alta eficiencia energética y orientado a la demanda, combinado con el uso de un enfriador de aire exterior.
- Optimización de la energía de la red de media tensión, por ejemplo, a través del uso de nuevos transformadores.
- Adaptación de la iluminación dependiendo en la luminosidad natural, implemento del uso de sensores de movimiento.

### RESULTADOS

AHORROS	
Porcentaje	29%
Reducción del uso de energía	3.3 GWh / año
Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub>	1,590 t / año
Ahorros	€ 327,000 / año
Inversión	€ 1.1 millones
Retorno de la inversión	30%

**Figura 63: Impactos de las medidas de eficiencia energética en la empresa HARTING**

Fuente: Ilustración adaptada de los premios de eficiencia energética DENA (DENA Energy Efficiency Awards 2012).





# 12. ANEXO. RESEÑA DE LA EXPERIENCIA ALEMANA:

## IDENTIFICACIÓN DE LOS MEJORES MÉTODOS, DE LAS BARRERAS Y DE LAS LECCIONES APRENDIDAS EN ALEMANIA PARA DEFINIR EL PLAN DE POLÍTICA NACIONAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

### 12.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo del siguiente capítulo es presentar de forma resumida los mejores métodos, las barreras y las lecciones aprendidas sobre la eficiencia energética a nivel nacional y las políticas de eficiencia en Alemania. En el contexto de políticas ambientales, el gobierno alemán sigue dos objetivos principales. Por una parte, para la oferta, apoya el desarrollo de fuentes renovables de energía. Por otra parte, para la demanda, su objetivo es reducir la demanda energética implementando varios instrumentos de eficiencia energética.

Los objetivos principales de eficiencia energética están formulados en el Plan de Acción Nacional de Eficiencia Energética (NEEAP), el cual está basado en la Estrategia de Eficiencia Energética del Gobierno Federal Alemán<sup>36</sup>. El gobierno federal sigue dos objetivos principales.

La idea general detrás de la estrategia alemana de eficiencia energética era el afán de establecer incentivos generados por el mercado y con ello influenciar la decisión adquisitiva del consumidor o inversionista. Generalmente, los periodos de costos bajos de energía han sido utilizados para introducir nuevas políticas de eficiencia energética. Siguiendo esta regla, debido a los precios bajos del crudo se está dando pauta a nuevas oportunidades. Por ejemplo, el impuesto suplementario a la energía, el llamado eco-impuesto, fue establecido en 1999 no sólo en combustibles destinados al transporte, sino también en combustibles como aceite para calefacción y gas natural. La introducción de un impuesto suplementario es sólo un componente de las políticas de energía. Tiene que ser adaptado a través de los años para alcanzar su meta. El eco-impuesto ha sido aumentado en promedio a una tasa del 4.6% por año, la cual es considerablemente más alta que el aumento al precio promedio de los consumidores que fue de 2% de 1991 a 2008. Esto señala un aumento real en los impuestos aplicados, lo cual tiene como finalidad provocar decisiones de compra más eficientes energéticamente. Este ejemplo puede ser extendido con la introducción

36 El tercer NEAPP puede descargarse en la siguiente liga:  
[https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014\\_neeap\\_en\\_germany.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014_neeap_en_germany.pdf)

---

del Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea (ETS) para obtener permisos de emisión de CO<sub>2</sub>, lo cual ocasionó por una parte, un impuesto doble en el caso del eco-impuesto, pero por otra parte aumentó los costos para las tecnologías no-eficientes. A pesar de que esto fue identificado por el gobierno y por los inversionistas relevantes, el régimen de impuesto doble fue aceptado debido a sus efectos positivos en la eficiencia energética. En este caso en específico, el consumidor tiene un interés en la compra de, por ejemplo, equipos o aparatos más eficientes, como vehículos y maquinaria.

El procedimiento general de impuestos está respaldado fuertemente por los estándares de eficiencia energética, los cuales están formulados y codificados en diferentes leyes. En las siguientes secciones se describen dos estándares. Por un lado se encuentran las leyes de emisiones, las cuales determinan el valor umbral de emisiones para maquinaria específica y para sus componentes. Por otro lado está la Ley de Conservación Energética en combinación con el Decreto de Conservación de Energía. Dentro de estas leyes están definidos los reglamentos de, por ejemplo, edificios.

## **12.2 POLÍTICA NACIONAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA**

El gobierno federal alemán identificó la eficiencia energética como un pilar para reducir las emisiones y el consumo de energía, además de la introducción de energías renovables. La idea no es únicamente reducir el consumo energético, sino también crear nuevos modelos de negocio y apoyar la investigación y el desarrollo. En particular, los nuevos modelos de negocio han mostrado efectos de rendimiento en el actual estado de baja inversión capital, donde las medidas de eficiencia energética tienden a ser superiores.

---

Los nuevos objetivos son:

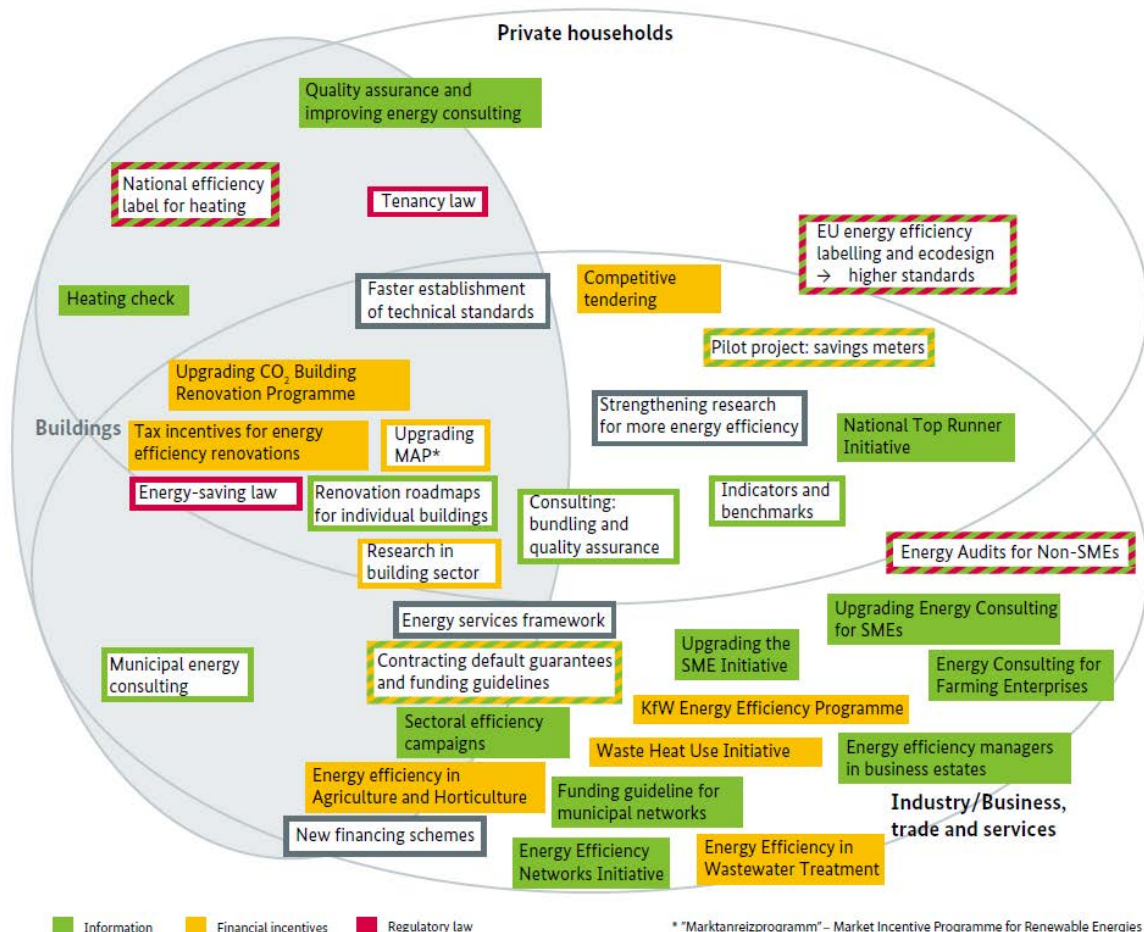
- La introducción de un nuevo proceso de oferta para la eficiencia energética, mostrando un desarrollo similar al desenvolvimiento de energía renovable, donde el balance neto deberá ser sustituido no sólo por un proceso nacional de oferta, sino uno internacional y con ello, abrir el mercado para países vecinos.

- El aumento de regímenes de financiamiento, especialmente para la renovación de edificios para aumentar la tasa de renovación de los edificios existentes.
- El establecimiento de redes de energía entre diferentes grupos de consumidores en el hogar, la industria y el sector empresarial.

La **Figura 64** proporciona una visión conceptual detallada sobre los numerosos instrumentos y políticas aplicados en Alemania, los cuales están divididos en los siguientes grupos principales: hogares privados, industria/negocio, comercio y servicios.

**Figura 64: Medidas de corto y largo plazo y avances del plan de acción nacional de eficiencia energética de Alemania (NAPE-GER)**

Fuente: BMWi 2015.



Tanto en las medidas relacionadas a los edificios como las medidas relacionadas a los hogares, el plan de renovación y ahorros de energía es fundamental. Al mismo tiempo, ambas políticas están basadas en incentivos (programa de renovación) y en la ley de ahorro de energía. Todo esto en línea con la filosofía mencionada en la introducción.

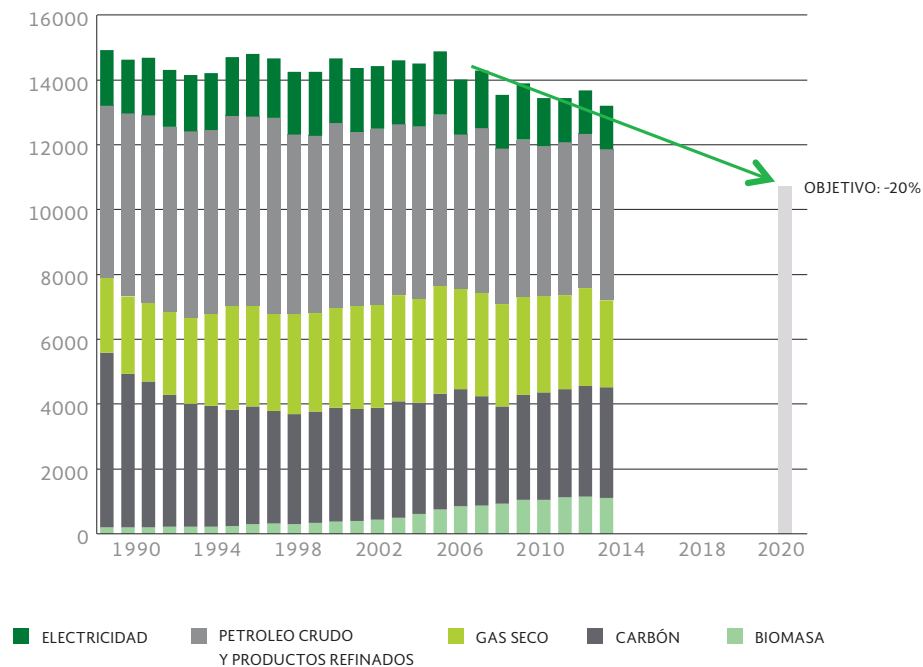
### 12.3 ESTADO Y ENTENDIMIENTO DE LA POLÍTICA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ALEMANIA

El gobierno federal ha establecido la meta de reducir el consumo de energía primaria en un 20% en comparación con el año base (2008 para el año 2020), así como una reducción del 50% adicional para el año 2050. Además, se estableció como meta reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 27% para el año 2030.

La **Figura 65** muestra el desarrollo histórico con las estimaciones para 2014, así como los requerimientos para las metas del 2020. La disminución necesaria puede ser vista como ambiciosa, ya que los pronósticos preliminares indican un déficit de la meta de entre 9.9% y 12.8% basado en el reporte federal del pronóstico y en la situación climática hipotética calculada. En total, se requiere una reducción adicional de aproximadamente 1,400 PJ para alcanzar las metas establecidas.

Figura 65: Evolución del consumo de energía primaria por fuente

Fuente: Enerdata y AG Klimabilanzen.



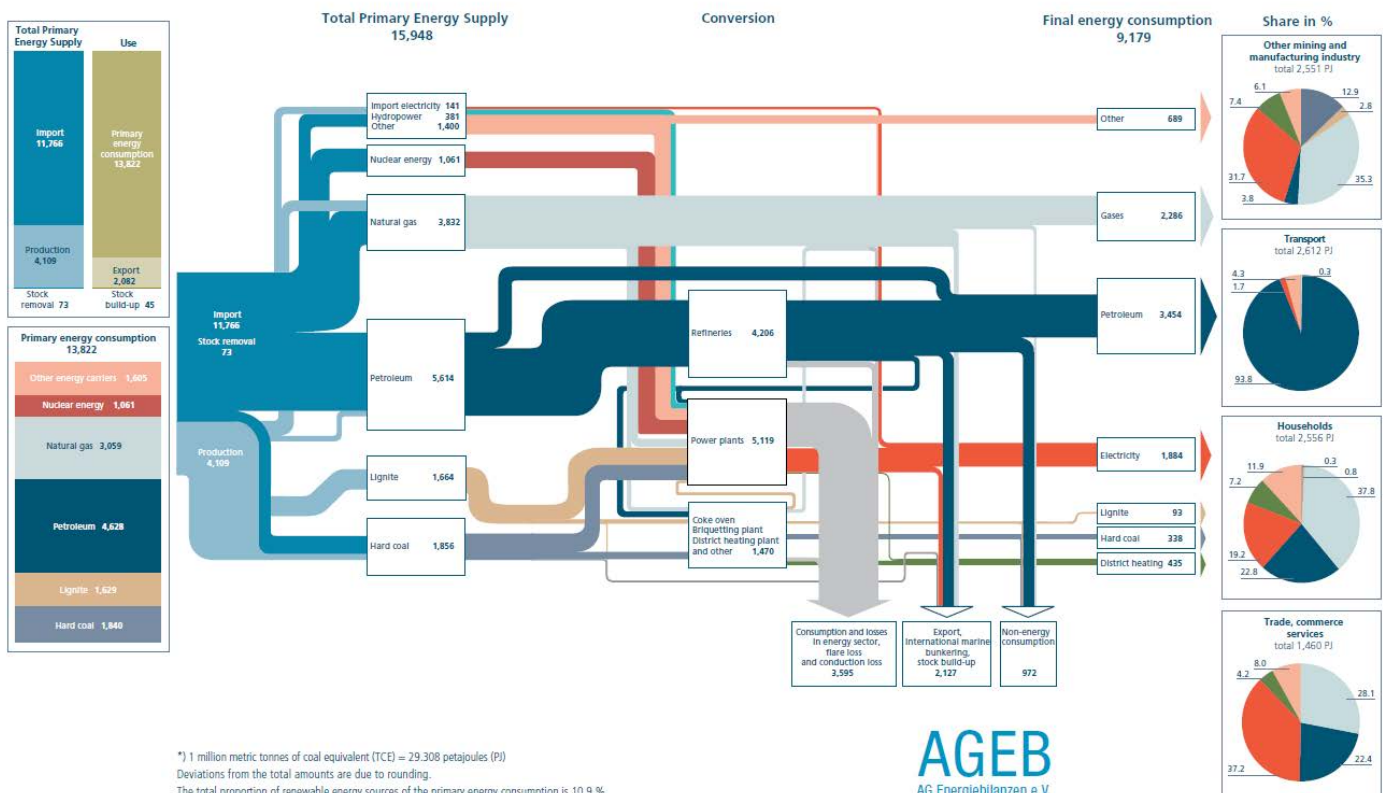
En este cálculo no tiene en cuenta la implementación de los mandatos para un ahorro de energía más estricto, el cual contempla amplios fondos para el programa de renovación de edificios. Este programa tendría un impacto significativo, ya que considera la inversión de 300 millones de euros, que corresponden a ahorros del 17% o

–dicho de otro modo- a una reducción del consumo de 43 PJ adicionales. Sin embargo, este ahorro aún no es suficiente para alcanzar las metas establecidas. Para compensar el déficit se desarrollarán políticas de eficiencia energética adicionales, con el fin de apoyar al sector eléctrico y de reducir el consumo de energía eléctrica.

Además de los costos de las políticas de eficiencia energética, se están generando otras inversiones adicionales. Estudios recientes demuestran un volumen de inversión en medidas de eficiencia energética de cuatro mil millones de euros en 2012 y de cinco mil millones de euros en 2013. Esto muestra que los costos de la política administrativa pueden servir como un multiplicador de la inversión privada. Sin embargo, es difícil estimar si este incremento será suficiente para alcanzar las metas establecidas.

Figura 66: Flujo de energía primaria en Alemania 2013

Fuente: AG 2015<sup>37</sup>.



37 Información adicional en el contexto de este proyecto: La siguiente gráfica de flujo sirve para comparar los resultados alcanzados en la parte del modelo del proyecto con los flujos de energía en Alemania.





**DETERMINACIÓN DE LA LÍNEA BASE DE CONSUMO ENERGÉTICO  
Y POTENCIALES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA SECTORIALES EN MÉXICO**  
en el contexto del Desarrollo de un Marco Político de Largo Plazo para la Eficiencia  
Energética en México. Versión digital publicada en el mes de septiembre de 2016  
en la Ciudad de México.