

## *Anexo IX. Análisis de la intensidad energética y consumo energético de los sectores analizados*

Este documento ha sido elaborado en cooperación con la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (Conuee).

### **Apoiado por**

European Union Energy Initiative

Partnership Dialogue Facility (EUEI PDF)



Y el

Programa de Energía Sustentable en México

Implementado por Encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ)



c/o Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

P.O. Box 5180, 65726 Eschborn, Germany

[info@euei-pdf.org](mailto:info@euei-pdf.org)

[www.euei-pdf.org](http://www.euei-pdf.org)

### **Autores**

Daniel Bouille, Claudio Carpio, Nicolás Di Sbroiavacca, Hilda Dubrovsky, Gustavo Nadal, Francisco Lallana, Raul Landaveri, Héctor Pistonesi, Jorge Plauchú, Marina Recalde, y Rafael Soria (Fundación Bariloche).

### **Con comentarios y contribuciones de:**

Odón de Buen, Juan Ignacio Navarrete, Israel Jáuregui, Pedro Hernández, Flor Chávez, Oscar Ruiz e Ilse Ávalos (Conuee).

Ernesto Feilbogen, Ana Córdova, Daniela Méndez, Fairuz Loutfi, Veronica Gómez y Jorge Atala (GIZ México).

Coordinación editorial: Ángel Azamar, Daniela Méndez y Veronica Gómez (GIZ México).

Ciudad de México, septiembre 2018

El Motor de Diálogo y Cooperación (EUEI PDF) es un instrumento de la EU Energy Initiative (EU EI). EUEI PDF actualmente recibe contribuciones de la Comisión Europea, Alemania, Austria, Finlandia, Italia, los Países Bajos y Suecia.



# ÍNDICE

1. Introducción .....	1
2. Subsector hierro y acero.....	1
Minerales no ferrosos (Análisis desarrollado únicamente a la producción y consumo de cemento) .....	3
3. Subsector vidrio y productos de vidrio .....	6
4. Subsector celulosa y papel .....	8
5. Subsector azucarero .....	10

# 1. Introducción

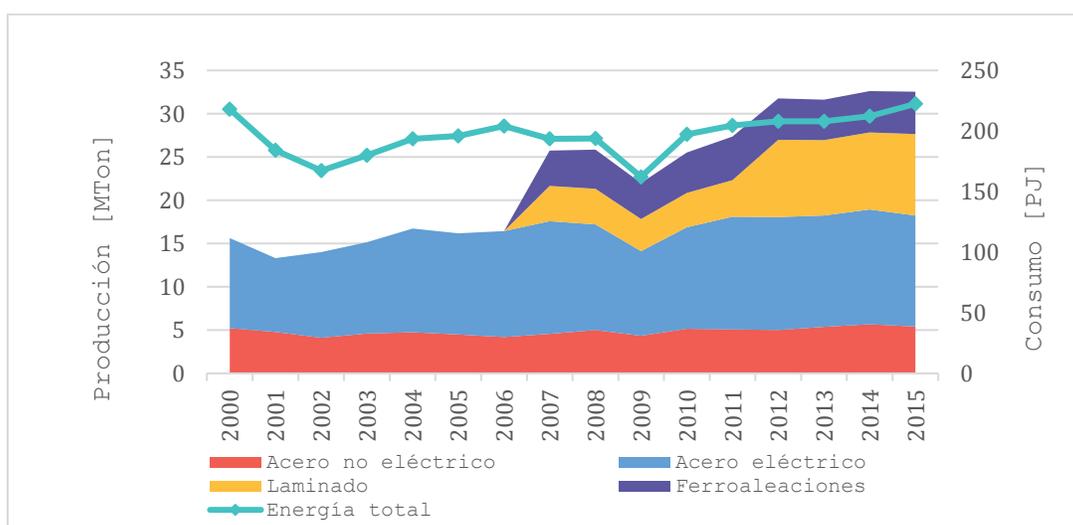
En el presente anexo se realiza un análisis histórico del consumo de energía en los subsectores de la industria a través de indicadores de intensidad energética, además se realiza una comparativa respecto de las mejores prácticas internacionales.

## 2. Subsector hierro y acero

Este subsector se analizó a partir del consumo energético de la Industria básica del hierro y el acero y la producción física de acero crudo eléctrico sumado a la producción de acero crudo no eléctrico.

La estadística de producción de hierro y acero muestra la incorporación de valores de producción de laminados y ferroaleaciones a partir de 2007. Dichas cantidades no fueron consideradas en el cálculo de la intensidad energética ya que el consumo energético no presentó un aumento en correspondencia. Podría ocurrir, sin embargo, que la estadística energética sí contenga la energía asociada a dichos procesos. En lo que respecta a la evolución de la producción bruta de acero eléctrico y no eléctrico, se muestra una ligera tendencia de aumento a lo largo del período analizado. La producción de acero eléctrico representa aproximadamente el 70%, participación que se ha mantenido estable en los últimos 15 años. (véase la **Figura 1.1**)

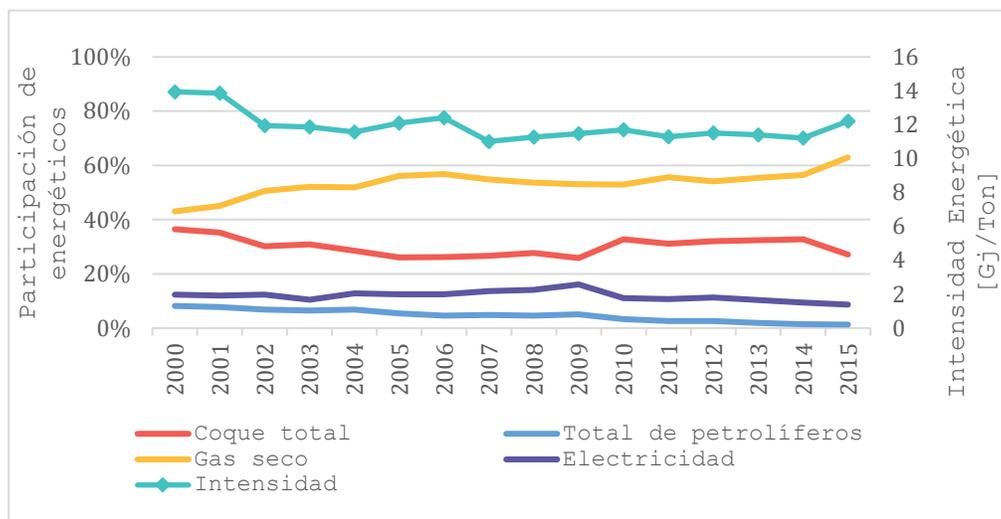
**Figura 1.1: Producción física y consumo energético de acero**



Fuente: Fundación Bariloche considerando la producción física reportada por el Anuario Estadístico de la Minería Mexicana (2016).

La evolución de la intensidad energética en términos físicos (IE) o consumo específico, definida como el cociente entre el consumo de energía total y la producción en unidades físicas, se presenta en la **Figura 1.2**, que muestra una tendencia bastante estable luego del escalón descendiente presentado en los primeros años (coincidente con algunos factores convergentes entre los que se encuentra el aumento del uso del gas natural y la disminución relativa del acero eléctrico).

**Figura 1.2: Intensidad energética física y canasta porcentual de consumos**



Fuente: Fundación Bariloche considerando el consumo energético sectorial reportado por el Balance Energético Nacional 2016.

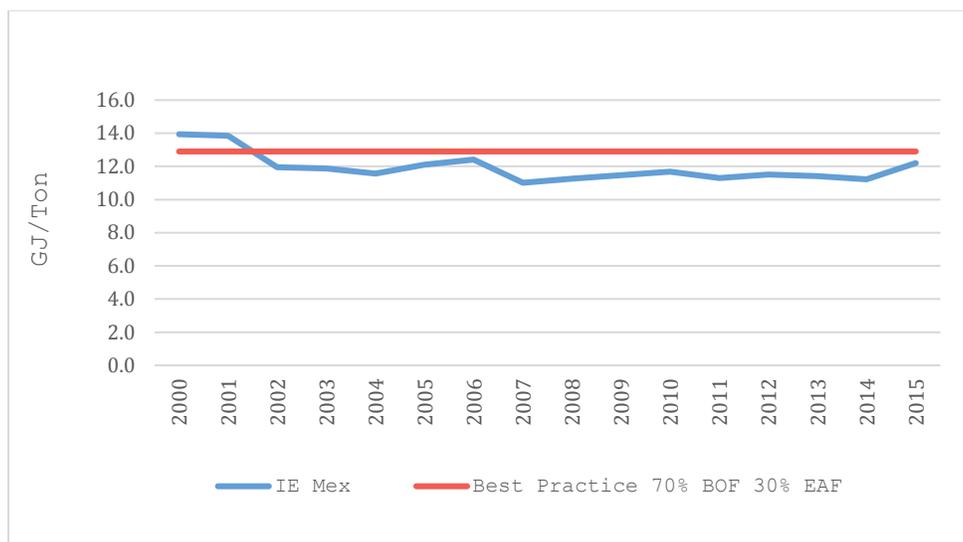
A partir del año 2003, la IE muestra un comportamiento muy estable con pequeñas oscilaciones alrededor del valor de 11.5 GJ/t de acero (eléctrico y no eléctrico).<sup>1</sup>

En lo que respecta a la IE por tipo de fuente, puede apreciarse en la figura anterior que todos los energéticos muestran un comportamiento muy estable, salvo el caso del coque que también sufrió un proceso de sustitución relativa. La participación del coque de petróleo ha disminuido desde 2009: mientras que entre 2000 y 2009 representaba 9% del total de coque consumido, en el período 2009 – 2015 representa en promedio 4% del total de coque consumido.

Un rasgo para destacar de estas evoluciones es que el gas natural, si bien aumentó su participación en los consumos en más de 15 puntos porcentuales en los primeros cinco años, no aumentó su IE específica. Con el coque ocurre un fenómeno diferente, su participación relativa está en casi constante declinación y así lo evidencia su IE específica. Hay un aumento entre los años 2010 y 2014 que podría ser atribuible a la situación de precios elevados del petróleo y energéticos.

<sup>1</sup> No se cuenta con la desagregación del consumo energético para cada uno de estos productos de origen muy diferente.

**Figura 1.3: Intensidad energética física y comparativa tipo benchmarking (evaluación comparativa)**



Fuente: Fundación Bariloche para el índice de intensidad energética de México, con datos del Study on energy efficiency and energy saving potential in industry and on possible policy mechanisms (ICF Consulting, diciembre 2015), para el valor mundial.

Tomando un 70% BOF<sup>2</sup> y un 30% EAF<sup>3</sup> el promedio de las mejores prácticas es de 12.9 MJ/t, que es similar al que se calcula para México<sup>4</sup> (véase la **Figura 1.3**).

## 2.1.

### Minerales no ferrosos (Análisis desarrollado únicamente a la producción y consumo de cemento)

Este subsector se analizó a partir del consumo energético de la fabricación de cemento y su producción física, además de productos a base de este material. La fabricación de cemento presentó una dinámica de importante crecimiento durante la primera mitad del período analizado (2000-2015) a tasa del 3.9 % anual acumulativo (a.a) promedio. En tanto que el consumo energético, en igual período, presentó un crecimiento del 6.2% a.a.

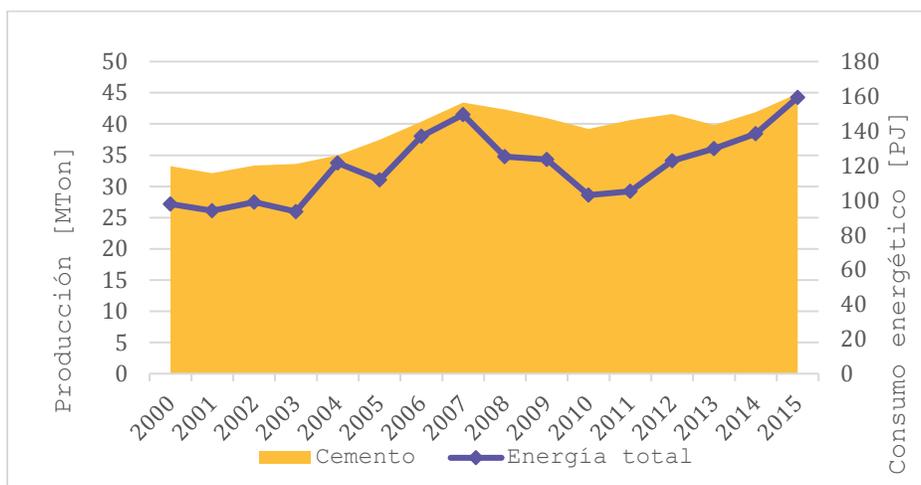
<sup>2</sup> BOF Route – Key processes in primary iron and steel production.

<sup>3</sup> EAF Route - World Best Practices of key processes in secondary steel production.

<sup>4</sup> Fuente: Adaptado de LBNL Report – 2016.

Entre 2008 y 2015, la producción muestra un período de bajo dinamismo, rondando los 42 millones de toneladas; mientras que el consumo energético evidencia un comportamiento muy particular de disminución y aumento, posiblemente vinculado con los altos precios internacionales del petróleo (y la energía en general) de los años 2009 y subsiguientes (véase la **Figura 1.4**).

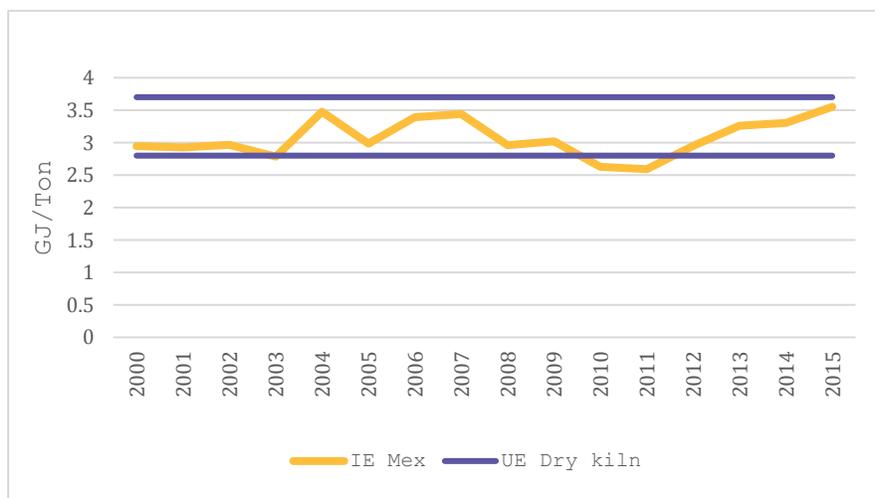
**Figura 1.4: Producción física y consumo energético de cemento**



Fuente: Fundación Bariloche a partir de estadísticas de producción de INEGI y de consumo de SENER.

En términos de intensidad energética por unidad física, se visualiza un aumento en correspondencia con el período de crecimiento de los niveles de producción; así como también un valle de mínima IE centrado en los años 2010-2011, para recuperar hacia finales del período analizado los valores del 2006-2007 (véase la **Figura 1.5**).

**Figura 1.5: Intensidad energética y evaluación comparativa**



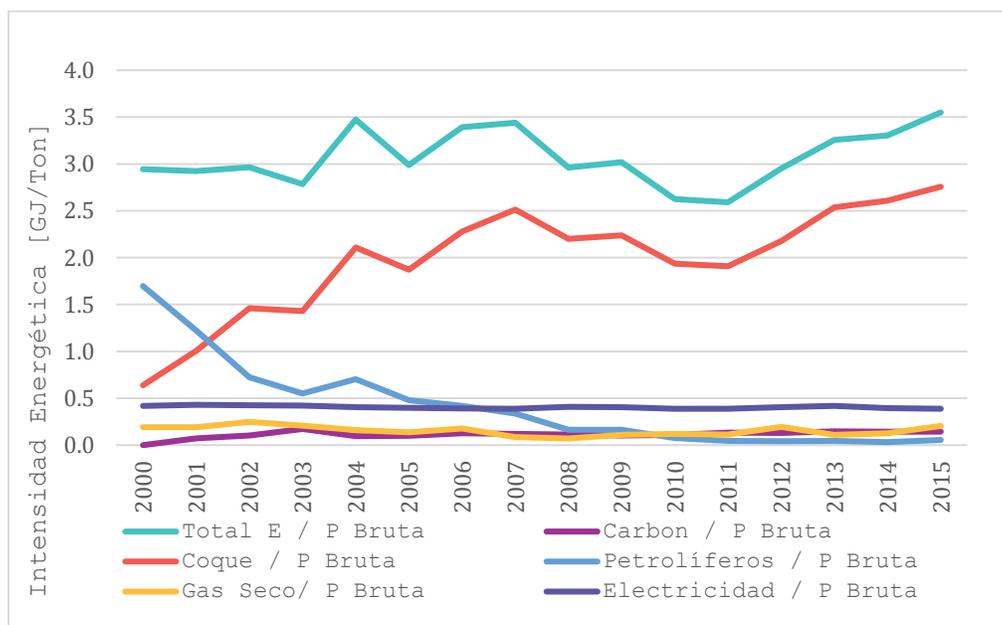
Fuente: Fundación Bariloche para el índice de intensidad energética de México, y datos de Study on energy efficiency and energy saving potential in industry and on possible policy mechanisms (ICF Consulting, diciembre 2015), para el valor mundial.

Cabe destacar que, durante la primera mitad del período analizado, ocurrió una modificación muy importante en la canasta energética que sustituyó prácticamente la totalidad del combustible por coque de petróleo, por lo que debe investigarse si dicho factor, en conjunto con la dinámica de alto crecimiento de la producción, contribuyó a aumentar la IE que creció 20% aproximadamente para ubicarse en 2016 en un valor de 3.4 GJ/t (sólo superado en 2015).

El período que sigue, comenzando en 2008, evidencia un claro espacio para la eficiencia energética y la reducción de consumos energéticos, ya que, entre 2007 y 2011, la IE se reduce un 25% llegando a valores 2.6 GJ/t en el año 2011. A partir de dicho año la IE es constantemente creciente, impulsada principalmente por el mayor consumo de coque por unidad de cemento producida.

Analizando la desagregación de la IE por combustible, tal como se muestra en la siguiente figura (véase la **Figura 1.6**), se aprecia que la intensidad del consumo eléctrico (segunda fuente en importancia), se mantiene muy estable independientemente del ciclo productivo y de la sustitución del energético calórico principal. Se aprecia en esta una leve tendencia a la disminución de 0.03 GJ/t por año, equivalente a un 0.5% a.a.

**Figura 1.6: Intensidad energética total y por energético (GJ/t)**



Fuente: Fundación Bariloche a partir de estadísticas de SENER.

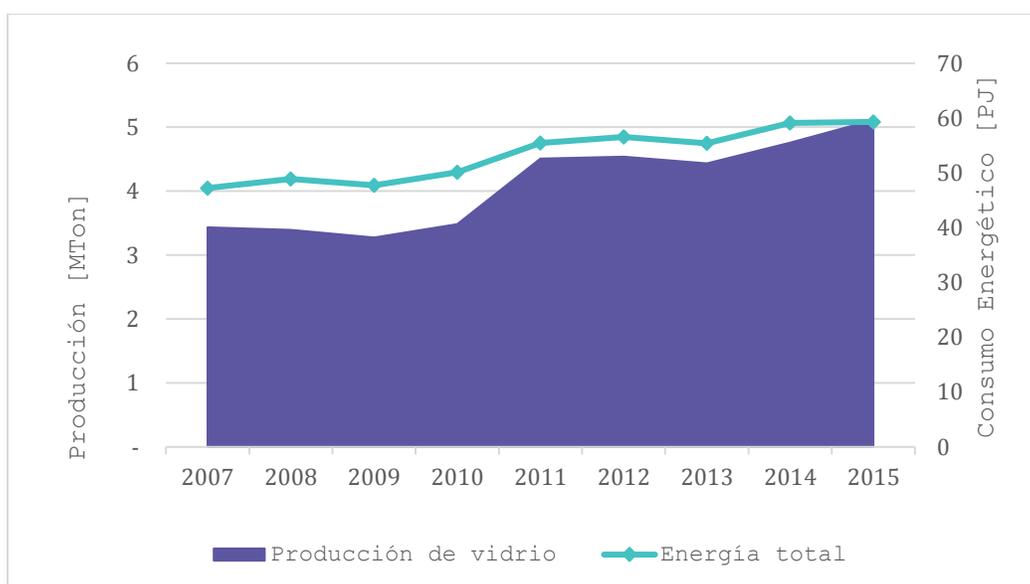
Se podría poner énfasis en la mayor eficiencia en el uso del coque (procesos involucrados) o en su sustitución. Los valores de consumo específico de México son bajos y comparables a los que se encuentran en la UE para proceso seco de 4 etapas de precalentamiento.

### 3. Subsector vidrio y productos de vidrio

Este subsector se analiza utilizando la estadística de consumo energético correspondiente al vidrio y a su fabricación, productos derivados y producción física.

Para la producción de vidrio se contó con un conjunto completo de estadísticas a partir del año 2007. Pueden apreciarse discontinuidades casi discretas en la producción, lo que podría corresponder a introducción de proyectos específicos de ampliación de capacidades. La estadística de consumo de energía acompaña parcialmente dichas discontinuidades, aunque con menor magnitud relativa, (Figura 1.7).

**Figura 1.7: Producción física y consumo energético en la producción de vidrio**

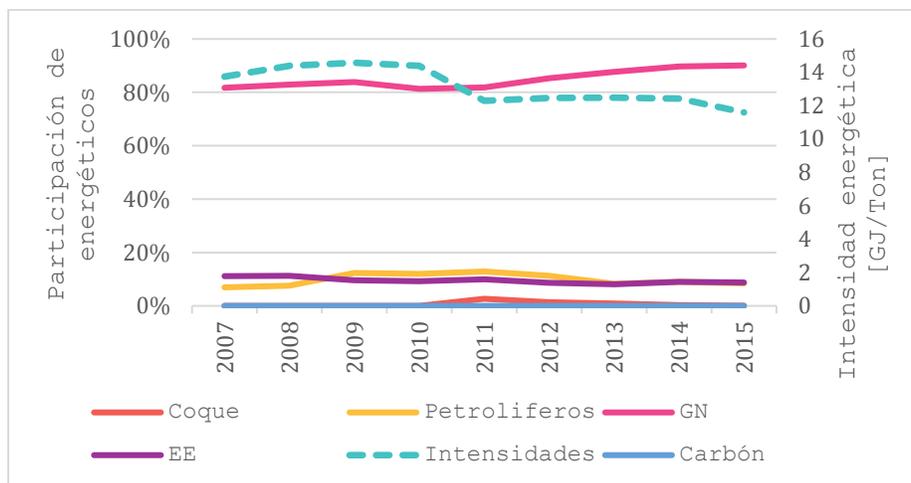


Fuente: Elaboración propia a partir de estadísticas de producción de INEGI y de consumo de SENER.

La evolución de la IE parece corresponderse con la hipótesis de ingreso de un nuevo proceso productivo de mayor eficiencia, lo que haría bajar la IE en un 15% aproximadamente como resultado del nuevo promedio ponderado. Esta situación permite pensar en un importante potencial de eficiencia para los volúmenes producidos correspondientes al primer escalón productivo. Suponiendo que esta situación fuera efectivamente la que está ocurriendo, la IE efectiva de este nuevo escalón productivo sería de 7 GJ/t, y llevaría el promedio ponderado a un valor del orden de 12.5 GJ/t, con un margen para hasta un 50% de potencial de reducción para los procesos de más antigüedad en la producción de vidrio (véase la Figura 1.8).

Cabe mencionar que el valor promedio para la UE es cercano a 8 GJ/t, lo que significa que hay una brecha considerable con el valor calculado para México (12 a 14 MJ/t).<sup>5</sup>

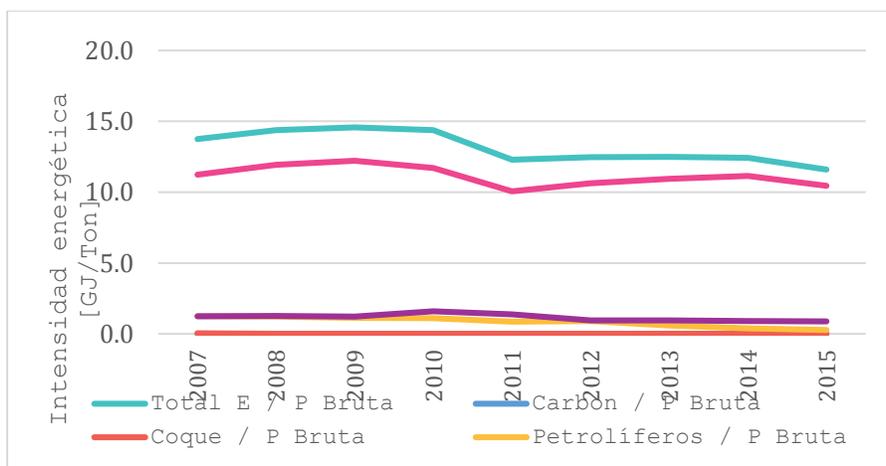
**Figura 1.8: Canasta porcentual de energético e intensidad**



Fuente: Fundación Bariloche a partir de estadísticas de SENER.

Aunado a lo anterior, si se analizan las IE específicas por combustibles (véase la **Figura 1.9**), se observa un paralelismo total entre la intensidad energética total, y la asociada al gas natural utilizado para los hornos.

**Figura 1.9: Intensidad energética total y por energético**



Fuente: Fundación Bariloche a partir de estadísticas de INEGI y SENER.

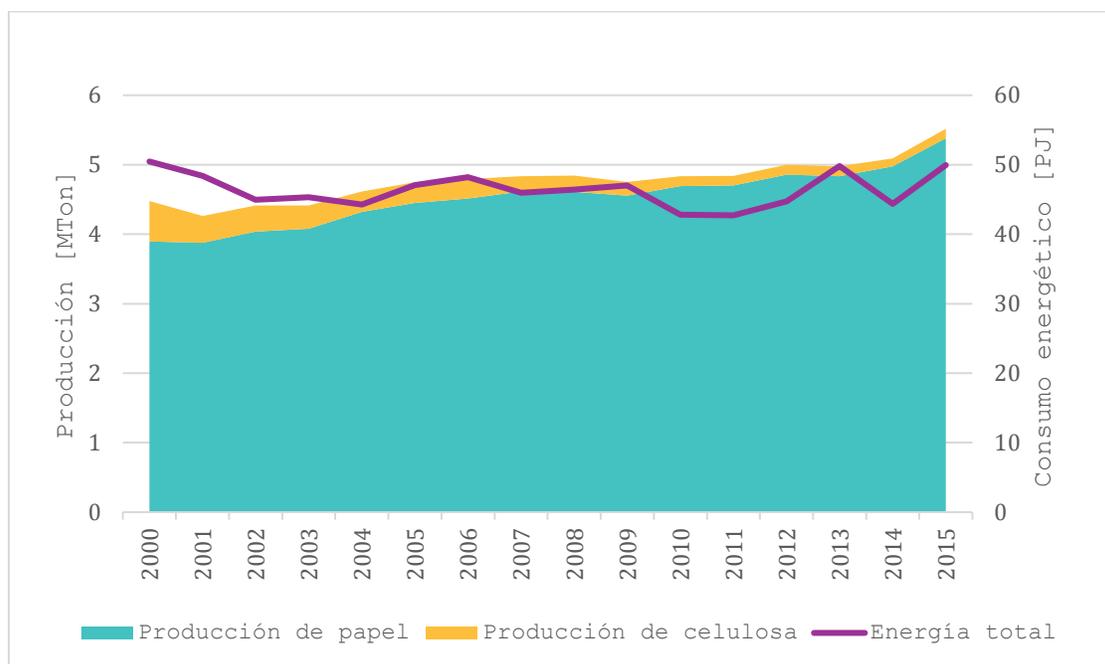
Sin embargo, en los últimos años se tenía una mayor sustitución del combustóleo utilizado en algunos hornos, dando un aumento relativo para la IE del gas natural, pero haciendo disminuir la IE global.

<sup>5</sup> Este resultado depende de la ponderación necesaria entre producción de vidrio plano y de envase. Esta situación podría cambiar, sin embargo, se nota muy alejado el indicador para México.

## 4. Subsector celulosa y papel

Este subsector se analiza utilizando la estadística de consumo energético correspondiente a la fabricación de pulpa, papel y cartón, junto con la estadística de producción de papel y de celulosa (véase la **Figura 1.10**).

**Figura 1.10: Producción física y consumo energético del sector pulpa y papel**



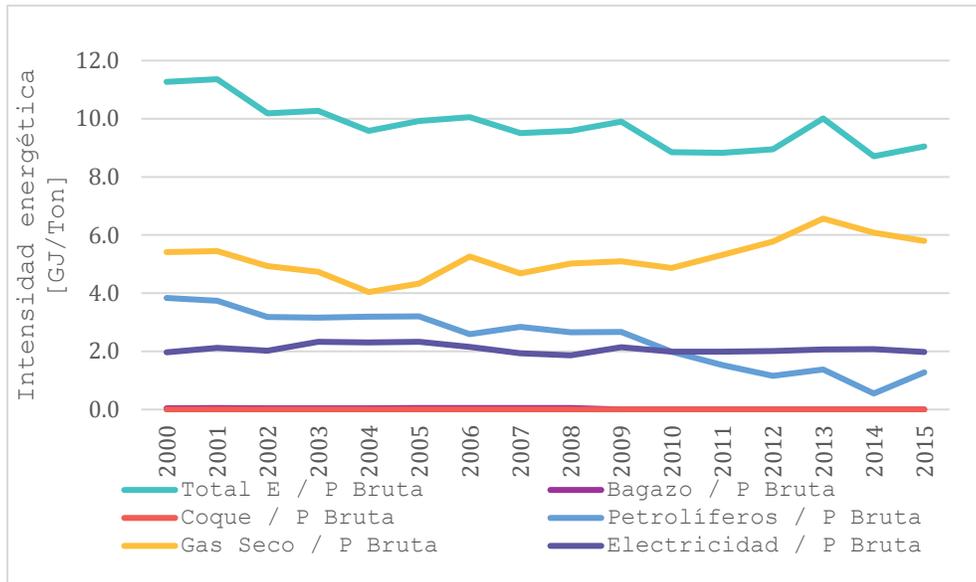
Fuente: Fundación Bariloche a partir de estadísticas de producción de INEGI y de consumo de SENER.

La actividad productiva presenta una tendencia de crecimiento moderada, pero constante a lo largo del período analizado. La tasa resultante es de 1.4% a.a. Se evidencia también la desaparición progresiva de la celulosa como producto del subsector (véase la **Figura 1.11**). En términos de evolución del consumo energético, la tendencia global es al descenso, con algunos puntos singulares específicos. Tal como puede apreciarse en la **Figura 1.11**, el resultado neto es una disminución sostenida en la IE global.

Desde el punto de vista de la canasta de energéticos, se aprecia que existió una modificación importante desplazando fuertemente el gas natural al consumo de combustóleo. Una parte de la disminución de la IE podría explicarse por dicha sustitución; pero visualizando la tendencia de la IE en los primeros cinco años de la serie, se aprecia una reducción sin haber existido una penetración del gas natural en el consumo. Aunque sí ha aumentado el consumo eléctrico.

La IE presentó una tendencia suavemente descendente, implicando una reducción de un 20% a lo largo del quindenio. Es posible que el efecto sustitución del GN haya implicado la reducción de los últimos años que presenta la IE.

**Figura 1.11: Intensidad energética total y por energético**



Fuente: Fundación Bariloche a partir de estadísticas de INEGI y SENER.

Si se analiza lo que ocurre con la IE específica por energético, puede verse una situación de relativa estabilidad en lo que respecta al consumo eléctrico por unidad producida; lo que daría a pensar en un potencial de eficiencia para la electricidad todavía no explotado.

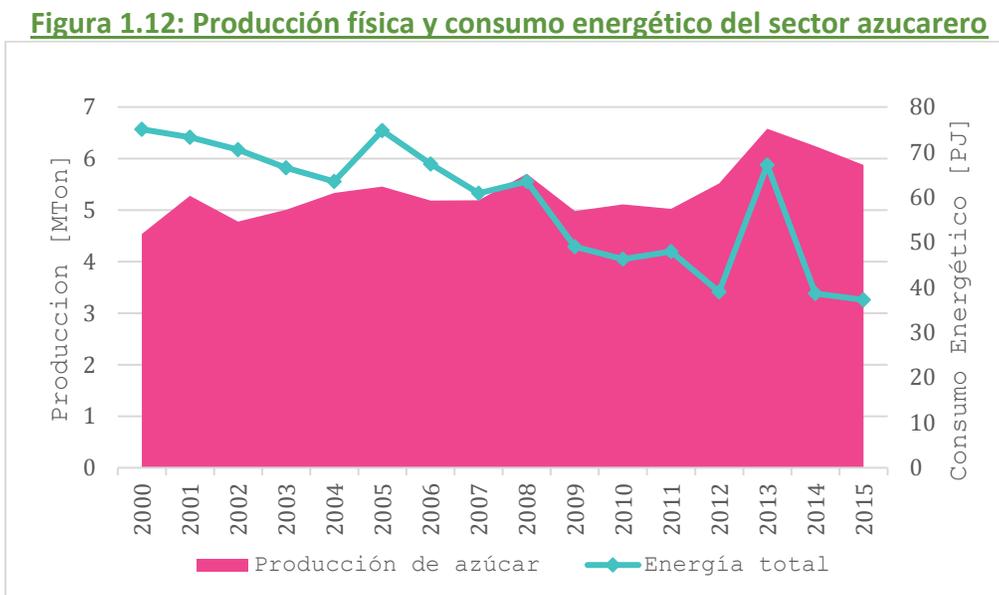
Los valores calculados para México son comparables o incluso inferiores a los de las referencias de la UE para un proceso moderno.<sup>6</sup>Tal como se presenta a continuación, la intensidad energética está en línea con valores internacionales equivalentes correspondientes con un bajo nivel de cogeneración.

<sup>6</sup> La importación creciente de celulosa ha disminuido los requerimientos energéticos al eliminar una parte intensiva en energía del proceso productivo.

## 5. Subsector azucarero

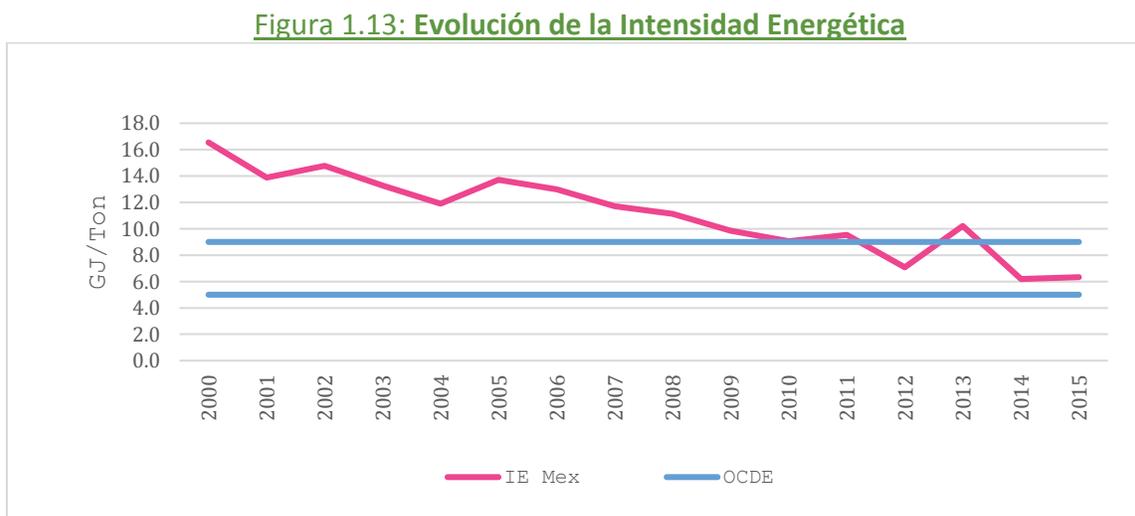
Este subsector se analiza a partir de la estadística de consumo energético en la elaboración de azúcares y la producción física de azúcar.

La producción de azúcar no muestra un gran crecimiento, a excepción de un importante ascenso que tiene en los años 2012-2014 (período que no coincide con precios altos internacionales, que se dieron entre 2010 y 2011, quizás es un efecto tardío de dicha señal (**Figura 1.12**).



Fuente: Fundación Bariloche a partir de estadísticas de producción de INEGI y de consumo de SENER.

La evolución del consumo energético muestra un importante descenso, que ubica al subsector azúcar como aquel que mayor ha reducido su intensidad energética (véase la **Figura 1.13**).



Fuente: Referencia OCDE de Global Industrial Energy Efficiency Benchmarking. An energy policy tool working paper, (UNIDO, noviembre 2010).

La participación de bagazo en la canasta energética (la cual desplazó al combustóleo que ocupaba casi el 40% del consumo) ha ido en aumento, como también lo ha hecho la electricidad, pero con niveles inferiores. La reducción de la intensidad energética es muy importante, debido a que ha disminuido más de un 55% a lo largo del quinquenio 2010-2015.

Es posible que la cogeneración y la forma en la que se contabiliza el consumo energético se encuentre distorsionando la estadística. De no ser así, la evolución registrada y vinculada casi exclusivamente a la producción de vapor, podría ser en parte extensible a otras ramas industriales con uso importante de vapor.