



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Análisis del impacto de los impuestos
ambientales para la Industria del
Acero en México**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniera Industrial

P R E S E N T A

Sandra Jazmín Gutiérrez Magaña

DIRECTORA DE TESIS

Dra. Juana Itzchel Nieto Ruiz



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016

Agradecimientos

Gracias a la vida y Dios por esta gratificante etapa de mi vida. Quiero agradecer y dedicar este trabajo a todas aquellas personas que han estado a mi lado durante este camino, a la UNAM que fue mi segunda casa, mi alma máter, por todas las herramientas que me dio para mi formación profesional y superación personal. Agradezco a mi insustituible Facultad de Ingeniería por todo su apoyo, enseñanzas, recursos y oportunidades para formar profesionales comprometidos con la sociedad y consientes del entorno que los rodea. Principalmente quiero ofrecer mi reconocimiento a mis profesores, de los que me llevo los conocimientos más amplios y las mejores hazañas para ejercerme como ingeniera.

Especialmente quiero agradecer a mi asesora, la Dra. Itzchel Nieto, quien gracias a su tiempo, dedicación y experiencia hizo este trabajo posible, sobre todo muchas gracias por nunca dejar de creer en mí y por incentivarme a saber que las cosas se pueden lograr siempre que se tenga el objetivo en mente y se luche por él.

Muchas gracias a todos mis sinodales por su tiempo, sus consejos, sus enseñanzas y por hacer más que una profesionista, una excelente persona.

Agradezco a mi tutora de carrera, la maestra Silvina, quien me permitió conocerla como persona y aprender que, pese a las adversidades, las cosas siempre se pueden lograr intentándolo y entregando tu corazón en todo lo que haces.

Al profesor Ubaldo quien supo encaminar mi aprendizaje y enriquecer este trabajo con toda su experiencia, sus consejos y atención. Gracias, porque su conocimiento fue parte de la inspiración de este trabajo y mi enfoque profesional.

Gracias al profesor Javier Ávila quien confió en mi todo el tiempo, me ha permitido desarrollar la ingeniería más allá de las aulas y desarrollar otras habilidades profesionales necesarias en la vida.

También, gracias a la profesora Alejandra Medina por su tiempo y por dejarme conocerle brevemente, pero sabiendo lo gentil que es y la experiencia que tiene.

Doy gracias a mi familia que nunca dejo de creer en mí, ni de saber que mi potencial puede exceder los límites que yo misma me pongo. Gracias a mis padres por hacer este sueño suyo y quererlo tanto como yo, los amo.

Mamá, gracias por tu apoyo incondicional, por siempre guardarme un lugar preciado en tu corazón, por ser parte de logros como este, gracias por ser como eres porque he aprendido mucho de ti y no olvides que este logro también es tuyo. Gracias papá, por las buenas ideas, por ser mi confidente y ser la extraordinaria persona que eres.

Agradezco a mis abuelos por todo el apoyo y cariño, por ser como unos segundos padres para mí. Gracias a mi abuelo y a mi papá de quienes me nació el interés por la ingeniería. Gracias a toda mi familia, quien estuvo para apoyarme todo este tiempo de una u otra forma.

Gracias a José Luis, el amor de mis amores, por su apoyo en las buenas y las malas, por creer en mis sueños, mis locuras y por llegar a mi vida durante este anhelo por ser la ingeniera de mis sueños y del cual ha sido parte.

Finalmente, gracias a la familia que uno elige, a mis amigas y amigos por tantos buenos momentos, por su motivación y tiempo, especialmente gracias a mi hermana del corazón, Lau.

Infinitamente, gracias.

Índice

Introducción	3
Problemática	4
Objetivo	6
Justificación	6
Hipótesis	6
Capítulo 1. Antecedentes	7
1.1 Acero	7
1.2 Tipos de acero	11
1.3 Importancia del acero en México y el mundo	14
1.4 Proceso de producción	21
Capítulo 2. Análisis de las tecnologías de producción de acero en México	25
2.1 Tecnologías de producción	25
2.2 Insumos	27
2.3 Ventajas y desventajas	33
Capítulo 3. Análisis económico, social y ambiental de la industria del acero	36
3.1 Impacto económico	36
3.2 Impacto social	48
3.3 Impacto ambiental	51
Capítulo 4. Marco regulatorio fiscal	58
4.1 Impuestos ambientales	58
4.2 Impuesto Especial sobre Producción y Servicios	65
Discusión	70
Conclusiones	73
Apéndices	76
Siglas y unidades	81
Glosario	83
Bibliografía	85

Introducción

La industria del acero es de las más importantes a nivel mundial, a partir de ésta se genera la materia prima necesaria para otros sectores como el de la construcción, transporte en general y producción herramental para otras industrias (hospitalaria, alimenticia, mecánica, etc.). Sin embargo, sus procesos a nivel mundial y nacional, posicionan al acero como uno de los sectores más intensivos en el uso de la energía y por consecuencia uno de los mayores generadores de emisiones contaminantes. En este trabajo se dará un contexto amplio de los factores internos y externos que envuelven a la industria del acero en México.

Para su estudio se abordarán los procesos más importantes de producción de acero en México, con la finalidad de hacer un análisis de los insumos utilizados y específicamente de los combustibles de mayor importancia, que en México son susceptibles de la aplicación del Impuesto Especial sobre Producción y Servicios, conocido como IEPS. Cabe destacar que este estudio se limita a la elaboración de acero crudo, es decir que no se incluirá la transformación a productos terciarios ni aleantes adicionados al acero.

El estudio también contempla la integración del sector económico, ambiental y social porque permite una visión completa de la industria del acero, reconocer su importancia, valorar las limitantes que tiene y los efectos que causa en el entorno. A su vez, se presentará un panorama de las alternativas en la industria para generar un cambio en la intensidad energética y el posible impacto de impuestos ambientales como medida de mitigación de contaminantes atmosféricos, específicamente gases de efecto invernadero, por parte del gobierno. Finalmente, se evaluará la propuesta del impuesto ambiental, su impacto en el sector acerero desde 2014 y como podría afectar los futuros métodos de producción en México.

Problemática

El sector acerero en todo el mundo se caracteriza por su alta intensidad energética que trae consigo importantes volúmenes de emisiones contaminantes. Las estrategias para **mitigar** emisiones en este sector son diversas e integran componentes tanto tecnológicos como económicos.

A lo largo de la historia, este sector ha tenido cambios tanto en su proceso de producción como en sus ingresos a nivel mundial. Hoy en día la situación se ha agravado con la entrada de acero procedente de China con altas emisiones y bajos costos, con lo que ha logrado posicionarse como el productor número uno a nivel mundial según diversas fuentes.

La **industria básica del hierro y del acero** resulta clave en la economía a nivel mundial, con una participación activa en el Producto Interno Bruto (PIB) de los países productores. En México, tan sólo en el año 2014 el sector de producción de acero como industria básica tuvo una aportación aproximada de 0.4% (anual y calculada a precios corrientes), lo que representó 62,481.141 millones de pesos (MMdp) anuales respecto al PIB nacional total (INEGI, 2015a)¹. Para el mismo año, la Cámara Nacional del Hierro y del Acero (CANACERO, 2014a) reportó que esta industria contribuyó con el 2.1% del PIB nacional, cifra que incluye a todo el sector, tanto metálica básica como transformación, también indicó la aportación del 6.4% al PIB industrial y 12.2% para el PIB manufacturero.

Debido al fenómeno del cambio climático, en todo el mundo se han implementado estrategias para mitigar las emisiones de gases de **efecto invernadero** en todos los sectores de la economía. En los últimos años, México se ha distinguido por su participación con propuestas diversas para la atención de dicha problemática. Entre las medidas establecidas se encuentran los impuestos ambientales, orientados a reducir las emisiones generadas por los sectores productivos como la industria del acero, basado en un costo adicional para los diferentes tipos de combustibles, donde aquellos con un mayor uso intensivo de energía podrían ser los más afectados.

En particular, la aplicación de un impuesto a los combustibles fósiles de acuerdo a su contenido de carbono fue la medida económica adoptada por México, en la que se fija un costo adicional al precio de mercado de los combustibles. La industria básica del hierro y el acero podría ser impactada pues sus procesos utilizan los siguientes combustibles como insumos importantes:

- Gas natural
- Carbón- Coque
- Diésel, combustóleo y coque de petróleo

Dicha iniciativa ha generado la necesidad de reducir la intensidad energética del proceso y valorar cambios tecnológicos para reducir los costos económicos.

¹ Año base 2008, 3° trimestre del 2015.

A nivel mundial, se han analizado las rutas tecnológicas por las cuales la industria acerera podría transitar para mantener su competitividad y aprovechar las regulaciones e impuestos que se les aplican a los combustibles que requiere. Ello será abordado en el presente estudio.

Con estas referencias se busca estudiar si estos impuestos podrían ser útiles para lograr una reducción en las emisiones ambientales asociadas a los procesos del sector (INECC-PNUD, 2012).

Objetivo

Evaluar el impacto de los impuestos ambientales asociados a la industria del acero en México, de acuerdo a sus diferentes tipos de producción, con base en los combustibles que requieren y la relación de esta industria con temas de sustentabilidad.

Justificación

El acero como producto industrial, desde sus inicios ha estado asociado con la generación de emisiones contaminantes. Como punto de partida, es importante mencionar a la **Revolución Industrial** que tuvo lugar en Europa y Norte América del siglo XVIII y que trajo consigo la transformación de los recursos naturales para beneficio de la humanidad. Ello dio como resultado un desarrollo económico y social significativo, sin considerar el aumento de los gases efecto invernadero, causados por los procesos de producción.

Una de las industrias que más contribuye con emisiones contaminantes es la acerera la cual, de acuerdo al Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI), en 2010 tuvo una contribución del 13.7% (7,797.9 Gg de CO₂eq) para el sector de manufactura en términos de emisiones producto de generación de energía, mientras que un 12.1% (5,111.0 Gg de CO₂eq) que corresponden al proceso productivo del mismo sector (INECC, 2010a).

Por ello en diversas partes del mundo, ha sido necesario tomar medidas para reducir la contaminación generada durante sus procesos de producción y con ello cumplir con los requerimientos legales, tanto locales como globales, que le han sido impuestos para lograr su regulación.

Aunque se han tomado medidas financieras y legales para disminuir las emisiones contaminantes a nivel mundial, es necesario conocer el impacto que han tenido dichas estrategias a nivel ambiental y cuáles fueron las medidas que se tomaron para estar bajo este régimen. También es importante considerar el volumen de producción y cómo se verá reflejado en las emisiones de gases: Dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido de nitrógeno (N₂O), Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos del Metano (COVDM), Monóxido (CO), Óxidos de nitrógeno (NO_x) y Dióxido de azufre (SO₂) (INECC-PNUD, 2012) en los próximos años.

Hipótesis

Si la industria acerera en México busca reducir el impacto de los impuestos ambientales al carbono, deberá realizar modificaciones tecnológicas en sus procesos que le permitan contar con prácticas más eficientes en el uso de la energía asociadas al uso de combustibles más limpios.

Capítulo 1. Antecedentes

En este capítulo se describen los aspectos generales del acero, su historia, composición y los procesos más importantes de elaboración, con la finalidad de contextualizar lo que representa este sector en México y en el mundo. También se incluyen algunos datos de producción del acero que hacen referencia a su importancia para el desarrollo humano y de la ingeniería.

Existen consideraciones para el siguiente análisis, tales como el apego a precios corrientes (los cálculos de estos precios consideran el efecto de la inflación) para el análisis económico de la industria, esto debido a la gran cantidad de información brindada por el INEGI en este rubro, los datos tomados para citas e información relevante tienen en su gran mayoría como última actualización los años 2014 o 2015.

1.1 Acero

La palabra acero tiene su origen en el latín tardío *aciarium* derivado de *aciēs* que significa filo o punta (Diccionario de la Lengua Española (DLE), 2016).

El acero es una **aleación ferrosa** generada básicamente por la integración de carbono al hierro como compuesto secundario, el cual se puede encontrar entre 0.02% y 2.11% de la aleación total (Groover, 2007). Así mismo puede contener otros elementos (Mg, Cr, Ni, Si, Mo, W, entre otros.) que mejoran sus propiedades mecánicas o que tienen propósitos determinados dentro del proceso. Existe una gran variedad de aceros comerciales debido a la infinidad de composiciones en cuanto al porcentaje de carbono y aleaciones con otros elementos.

Desde su descubrimiento en el Siglo III a.C. en la India (World Steel Association (WSA), 2012), el acero ha sido considerado uno de los materiales más importantes para el desarrollo productivo, económico y social del ser humano. Sin embargo, este hallazgo surgió por accidente, ya que el hierro después de ser manipulado, era dejado en el horno, cerca de las brasas de carbón por largos periodos, adquiriendo dureza y fuerza (este proceso es llamado de **cementación**), cualidades que eran reconocidas y valoradas por las antiguas civilizaciones. Se cree que el trabajo con acero fue desarrollado mayormente en Grecia, de acuerdo con una referencia descrita por Heródoto:

“A great bowl of pure silver, with a salver in steel curiously inlaid. Glaucus, the Chian, made it, the man who first invented the art of inlaying steel.” (WSA, 2012).

A partir de este suceso, se estima que el acero generado, pudo significar una evolución en diversos aspectos sociales e industriales, tales como en el

transporte, el campo armamentístico², construcción y desarrollo de tecnología en el mundo.

Inicialmente, lo único que se conocía del acero era su gran durabilidad, sin saber a ciencia cierta lo relativo a la estructura química de esta aleación ni las propiedades que adquiriría, ya que dependían del proceso individual por el cual era obtenido. A partir el siglo XV la producción de acero fue desarrollada en todo el mundo con procesos igualmente diversos, pero con la implementación de herramientas que facilitaron su manejo, como el crisol y los hornos. Para esta época las limitaciones eran múltiples en cuestión productiva, dentro de ellas destacan la lenta fabricación de unidades, la falta de calidad homogénea del producto, así como el alto consumo de tiempo y recursos financieros.

No fue sino hasta el siglo XVIII, durante la Revolución Industrial, cuando los procesos de manufactura aún basados en la cementación previa, mejoraron para hacer lingotes de acero de alta calidad y uniformidad.

En el año 1740, la industria acerera sufrió un cambio en sus insumos pues el **carbón vegetal** comenzó a escasear dando lugar a la utilización de coque como sustituto, trayendo consigo un nuevo cambio en los procesos productivos de la época.

A partir de 1850 la producción de acero se extendió de forma global y masiva, incorporando nuevas tecnologías a los altos hornos ya existentes (convertidores Bessemer, Simens-Martin, hornos con **regeneración**, entre otros).

Para el final del siglo XIX dio inicio a la era del acero (WSA, 2012) en la que finalmente se estudia la composición y propiedades del mismo, por medio de **pruebas metalográficas**. También tuvo lugar el descubrimiento de nuevas aleaciones y la integración de todas las partes de la manufactura en una misma planta lo que mejoró la eficiencia del proceso y permitió ampliar la variedad de productos.

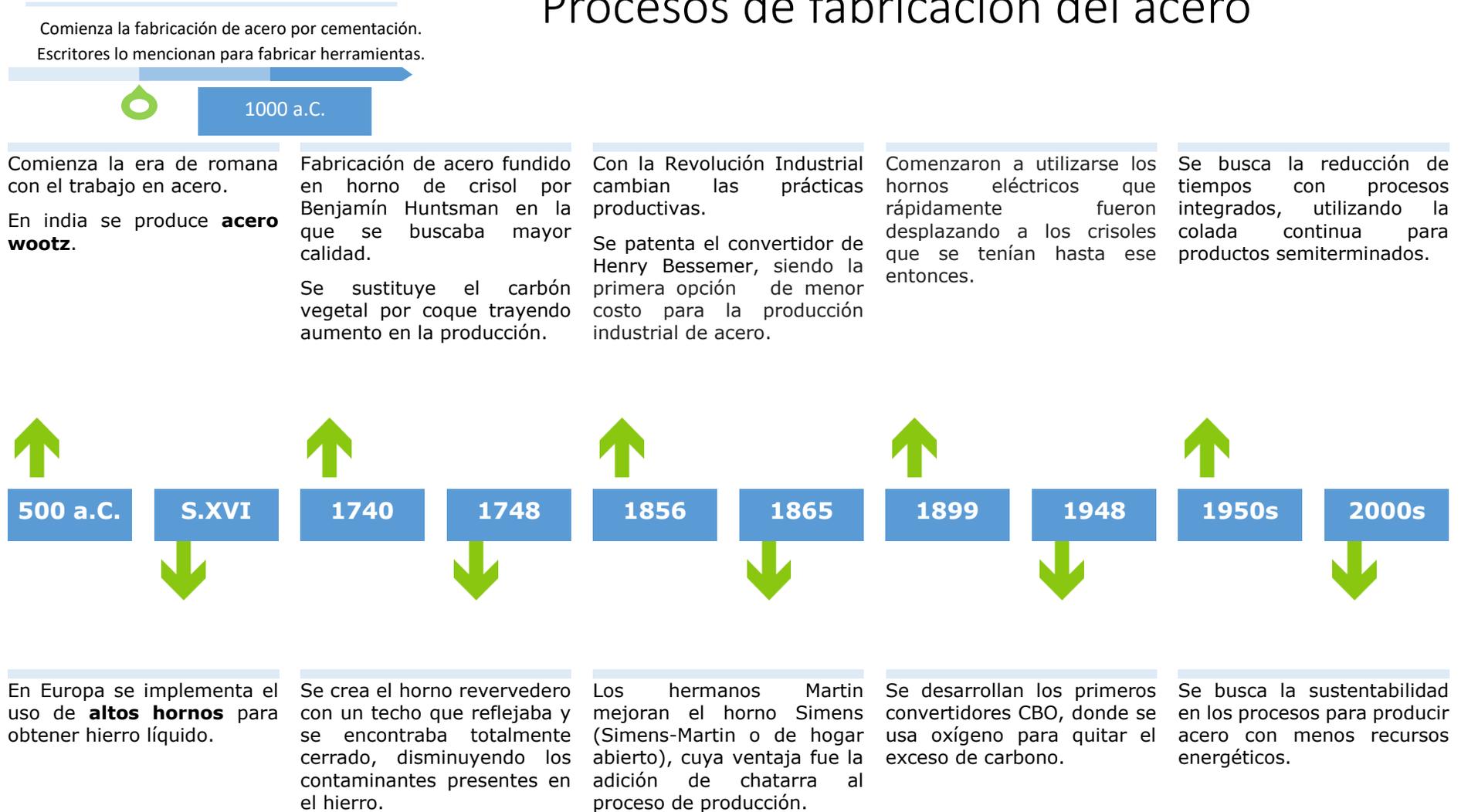
La aportación que sigue vigente hasta ahora se dio a mediados del siglo XX con el establecimiento de dos procesos más veloces y con menor consumo energético, Horno de Arco Eléctrico (HAE) o Electric Arc Furnaces (EAF) y Convertidor Básico de Oxígeno (CBO) o Basic Oxygen Furnaces (BOF). De igual manera, se establecieron, el reciclaje de acero como insumo de entrada al proceso y formas con medidas estándar (tocho, lámina, planchón) que permiten un proceso continuo.

El Siglo XXI ha estado marcado por la automatización del proceso para fabricar acero en algunas partes del mundo como China, Japón y Corea, lo que ha representado disminuir riesgos, reducir costos y posicionar a éstos y otros países como líderes en el mercado.

La siguiente línea del tiempo (Cuadro resumen 1.1) sintetiza los sucesos de mayor importancia para el desarrollo del sector acerero y que posteriormente serán retomados para su análisis.

² La implementación de acero en esta industria significaba prevalecer en la batalla entre algunas civilizaciones o guerras.

Procesos de fabricación del acero



Cuadro resumen 1.1 Procesos de fabricación de acero. Elaboración propia con datos de Breña (1996) y WSA (2016)

En términos de importancia, el acero surgió como una necesidad del ser humano para obtener materiales con propiedades físicas mejores que el hierro por sí solo (Breña, 1996), este último era un material quebradizo y que requería procesos adicionales que implicaban el incremento de energía o materiales que lo hicieran más resistente.

El acero tiene características que, en comparación con el hierro, lo hacen idóneo para la construcción y utilización a nivel industrial, como se muestra a continuación en la tabla (1.1).

Metal	Resistencia a la fluencia	Resistencia a la tracción	Elongación	Proceso para evaluar dureza ^b	Dureza Brinell	Dureza Rockwell
	MPa = lb/in²	MPa = lb/in²	%		HB	HR^c
Hierro colado, gris ^a	275 = 40,000	275 = 40,000	0.6	fundición	175	10C
Acero, bajo C ^a	175 = 25,000	300 = 45,000	30	laminado en caliente	100	60B
Acero, alto C ^a	400 = 60,000	600 = 90,000	10	prensado en caliente	200	95B, 15C
Acero aleado ^a	500 = 75,000	700 = 100,000	20	templado	175	90B, 10C
Acero aleado ^a				tratado con calor	300	33C
^a Los valores dados son comunes. Para las aleaciones hay un rango amplio de los valores de resistencia, ductilidad, en función de su composición y tratamiento.						
^b Los valores HB dados son comunes. Los valores de dureza variarán de acuerdo con la composición, el tratamiento térmico y el grado de endurecimiento por trabajo.						
^c Los valores HR están dados en la escala Bo C, como indica la letra que los designa.						

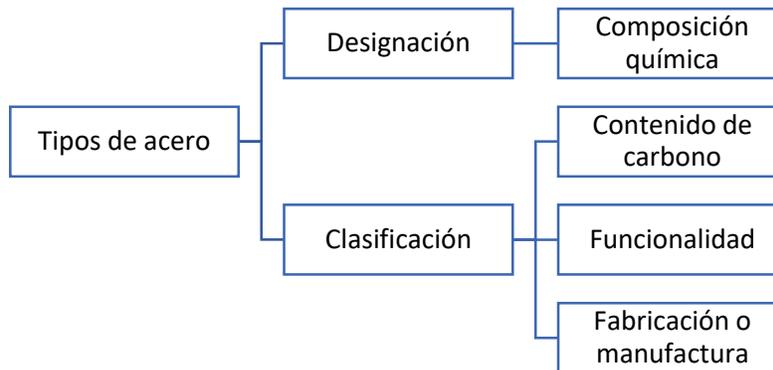
Tabla 1.1 Propiedades mecánicas del acero respecto al hierro. Elaboración propia con datos de Groover (2007)

La tabla 1.1 nos muestra cuánto se puede aumentar la resistencia, elongación y dureza del acero cuando se varía la concentración de carbono o se le adiciona algún aleante. Dichas concentraciones pueden ser muy variadas y dependen del tipo de acero que se quiera fabricar.

1.2 Tipos de acero

Fundamentalmente todos los tipos de acero parten de insumos básicos para su generación, sin embargo, según datos de la WSA, existen más de 3,500 tipos, que pueden variar en propiedades físicas, químicas o ambientales (WSA, 2015a).

Para este documento se trabajará con base en la clasificación propuesta por el documento *Análisis metalográfico y termoquímico de aceros y fundiciones* (Robledo, 1997), donde únicamente se modificó la división por composición química, para volverse una designación.



Cuadro resumen 1.2 Tipos de acero. Elaboración propia con datos de Robledo (1997) y Askeland, *et al.* (2011)

Para hablar de tipos de acero se debe dejar clara la distinción entre una designación y una clasificación, la primera nos habla de un estándar usado por asociaciones internacionales con la finalidad de especificar los elementos aleantes del acero, concentraciones de carbono o diversas aplicaciones del mismo por medio de una nomenclatura.

Ejemplos de designaciones son:

- American Iron and Steel Institute (AISI)
- Society of Automotive Engineers (SAE)

Cuatro o cinco dígitos para nomenclatura



Ilustración 1.1 Designaciones para el acero. Elaboración propia con datos Askeland, *et al.* (2011)

- American Society for Testing of Materials (ASTM) tiene una lista de especificaciones que describen aceros apropiados para distintas aplicaciones (Askeland, *et al* 2011).

Estas designaciones son las más importantes pues están normadas e incluso tienen un rango de concentración máximo y mínimo tanto de elementos aleantes como de carbono y su principal uso es la identificación de aceros industriales a nivel mundial.

Por otro lado, una clasificación, puede variar de acuerdo a la fuente consultada. La mayoría de las divisiones están de acuerdo al proceso, contenido de carbono o la actividad para la que fue creado el acero.

Contenido de carbono, esta clasificación depende de la cantidad de carbono presente en la aleación. Una forma de identificarlo es partiendo del **punto eutectoide**, el cual se establece como parámetro para saber si un acero se encuentra por encima de ese punto (hipereutectoide) o por debajo (hipoeutectoide) (Groover, 2007).

En la siguiente ilustración (1.2) del **diagrama de fases Fe-Fe₃C**, el punto eutectoide está a una concentración de 0.77% de carbono, los porcentajes que estén por debajo de esta concentración serán aceros hipoeutectoides mientras que con una concentración mayor a 0.77% y sin exceder el 2.11% serán aceros hipereutectoides.

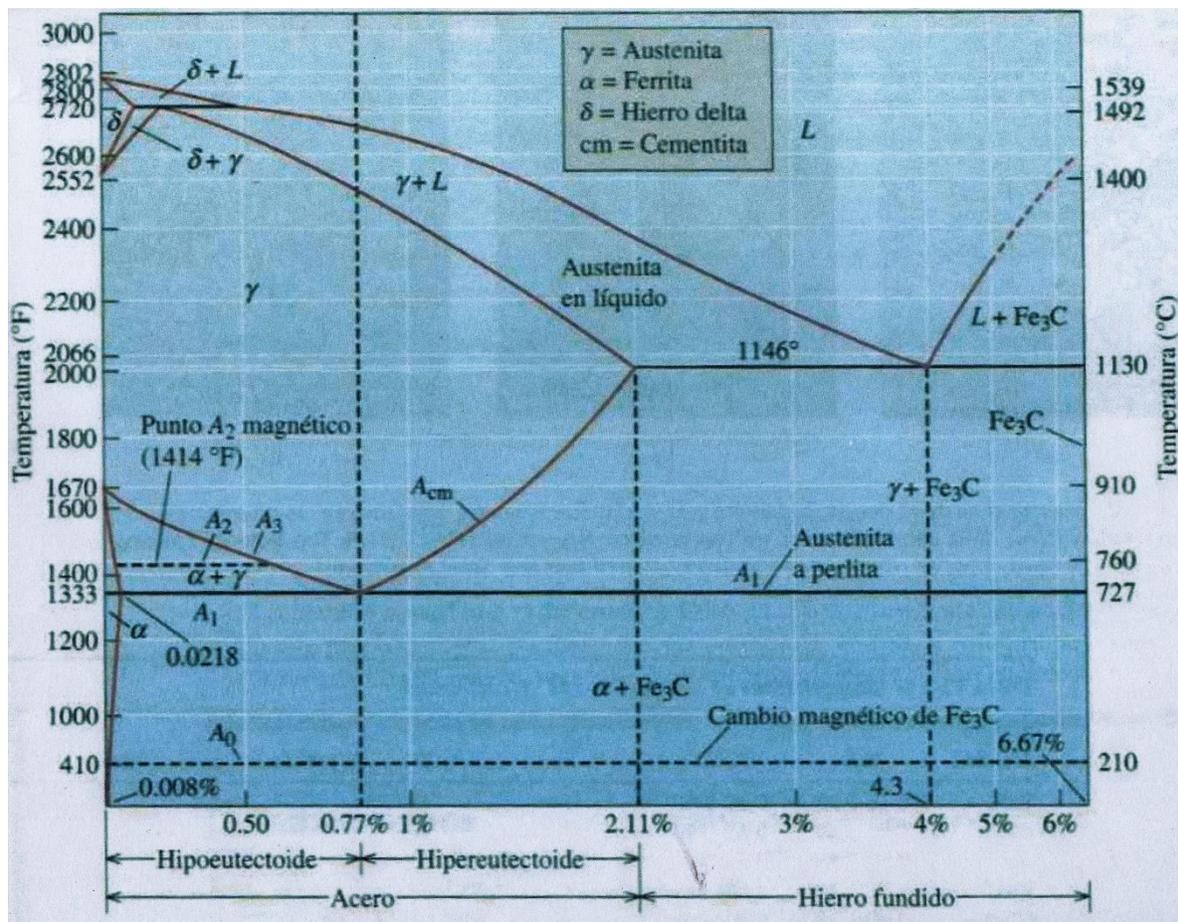


Ilustración 1.2 Diagrama de fase de Fe-Fe₃C, Askeland, et al. (2011)

De igual forma se puede designar el porcentaje de carbono en la aleación por medio de pruebas metalográficas, las cuales muestran el contenido de carbono,

dividiéndose en bajo contenido de carbono (0.04% a 0.15% C), acero dulce (0.15% a 0.3% C), medio contenido de carbono (0.3% a 0.6%) y alto contenido de carbono (más de 0.6%) (Askeland, *et al* 2011), como se muestra en la ilustración 1.3.

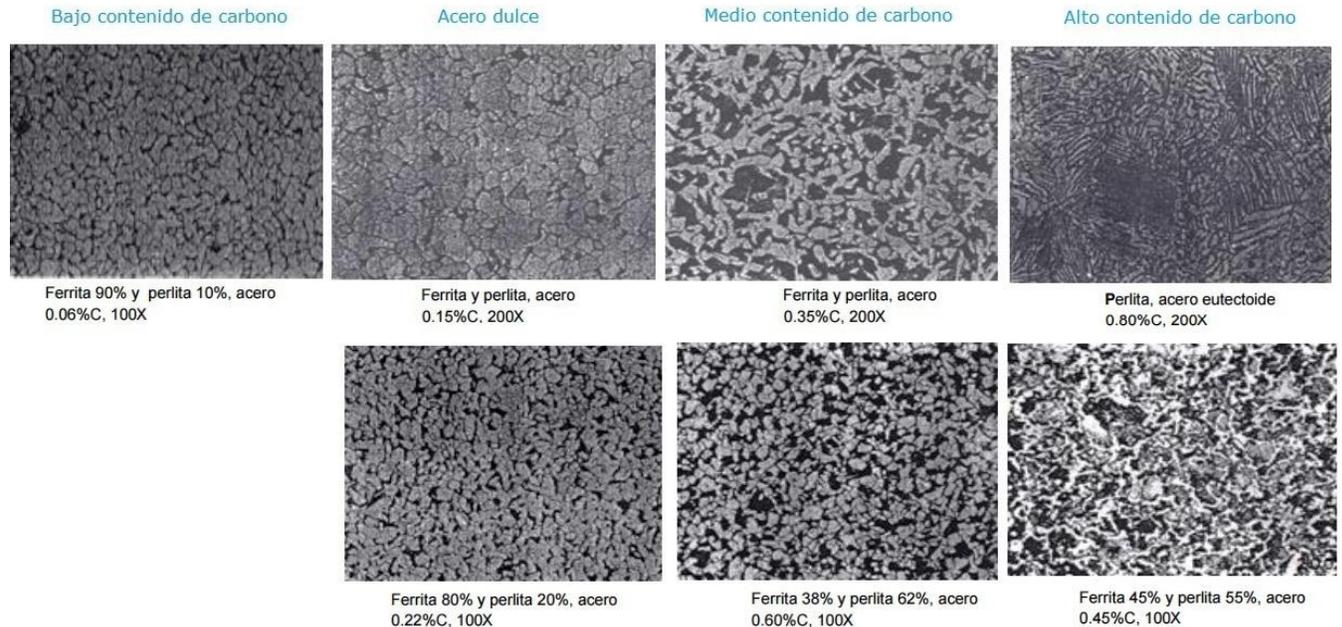


Ilustración 1.3 Metalografía: Porcentaje de carbono. Elaboración propia con datos e imágenes de Guzmán (2013)

Dentro de la clasificación de funcionalidad, depende de los procesos subsecuentes a los que el acero será sometido o del sector manufacturero al que vaya dirigido el producto con ciertas características.

- Para deformación en frío
- Tratamientos térmicos
- Tratamientos químicos
- Acero estructural
- Acero herramental
- Acero inoxidable
- Acero para maquinas

Por otro lado, en la clasificación por método de fabricación o manufactura, lo único que se menciona es el proceso por el cual fue fabricado el acero o alguna característica posterior a su fabricación.

- por colada continua
- de hogar abierto
- "E" horno eléctrico
- de crisol
- **recocido**
- **templado**
- galvanizado
- con recubrimiento

Finalmente, la clasificación ambiental, identifica los diferentes tipos de acero en función de los insumos requeridos para su fabricación y la intensidad energética asociada al proceso.

Como se puede observar en este apartado, la cantidad de tipos de acero que se fabrican tanto en México como a nivel mundial es muy variada de acuerdo a diversas particularidades perceptibles y microscópicas, pero en esencia tienen la generalidad de seguir los pasos básicos de un mismo proceso.

1.3 Importancia del acero en México y el mundo

El acero como aleación cobra importancia debido a diversos factores tanto químicos, económicos, productivos, etc. El hierro que forma el acero químicamente es un metal **alotrópico** en el que varían sus estructuras cristalinas (BCC-FCC-BCC¹) al cambio de temperatura permitiendo así que los átomos de carbono con radio de 0.71 [Å] y otros elementos, entren en los espacios, trayendo ventajas en propiedades como dureza, conductividad térmica y eléctrica, **opacidad** y **reflectividad** (Askeland, *et al* 2011).

En primer lugar, la trascendencia del acero en términos productivos, económicos y de recursos por país, radica en su componente principal, el hierro, este elemento es el segundo metal más abundante a nivel mundial, después del aluminio, representando alrededor del 5% de la corteza terrestre (McNamara, 2011). En México se conocen a la fecha unos 250 depósitos de mineral de hierro que no reúnen más que el 1% de las reservas mundiales (Breña, 1996), otra característica es su bajo precio en el mercado (Fenton, 2013) según datos estadísticos de los últimos años como lo muestra la ilustración 1.4.

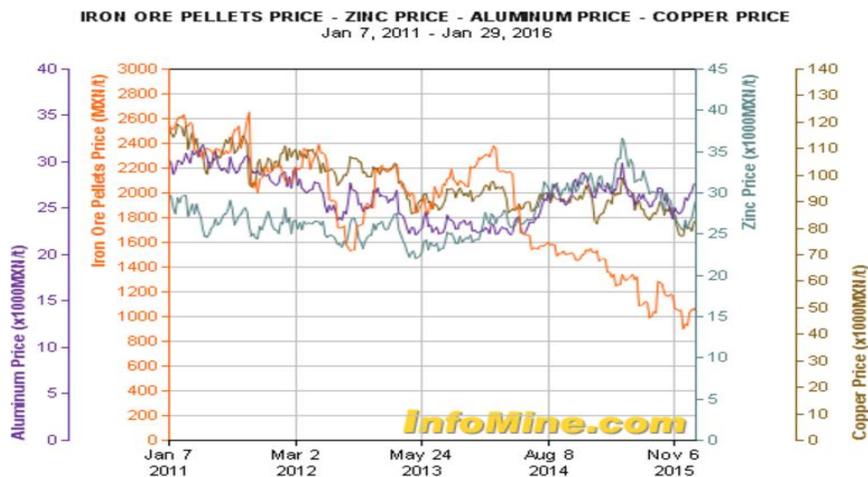


Ilustración 1.4 Comparación de precios en algunos metales, Infomine (2016)

¹ Dos diferentes tipos de estructuras cristalinas del Fe al cambio de temperatura BCC cúbica centrada en el cuerpo (Body Centered Cubic) donde aprox. 68% del espacio está ocupado por átomos, mientras que 32% está libre, FCC cúbica centrada en las caras (Face Centered Cubic) con aprox. 74% ocupado por átomos y 26% libre. Para el Fe, a temperatura ambiente es BCC, por encima de los 910°C y hasta 1394°C es FCC y regresa a BCC por encima de los 1394°C hasta 1538°C (Hinojosa, 2000).

La mayor parte de la extracción y procesamiento del hierro, es demandado por la industria acerera, garantizándole la subsistencia en el mercado de los **commodities**.

En México desde 1807 bajo el régimen colonial, se estableció la primera **ferrería** en Coalcomán, Michoacán (Breña, 1996), dónde se realizaron los primeros trabajos con acero, dando inicio a una de las industrias que hoy en día tiene gran importancia a nivel nacional.

La industria del acero es la segunda más importante a nivel mundial, precedida por la de petróleo y gas (WSA, 2016). En la siguiente ilustración (1.5) se muestra un panorama general de la aportación que tienen diversos países y organizaciones en la producción de acero en el mundo, México está considerado en el Tratado de Libre Comercio Norteamericano (por sus siglas en inglés NAFTA, North American Free Trade Agreement).

DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA 2014

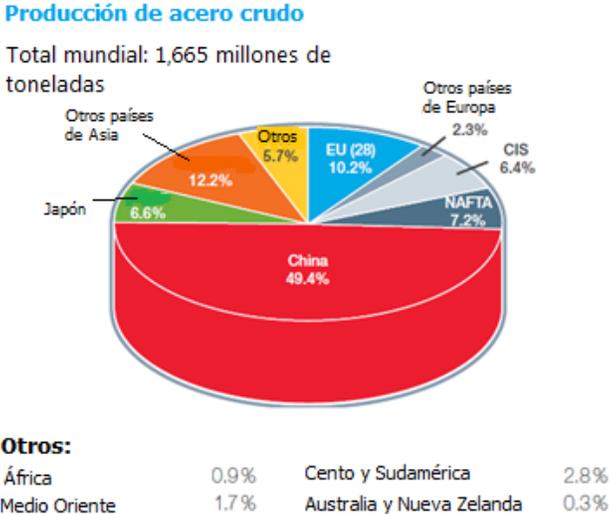


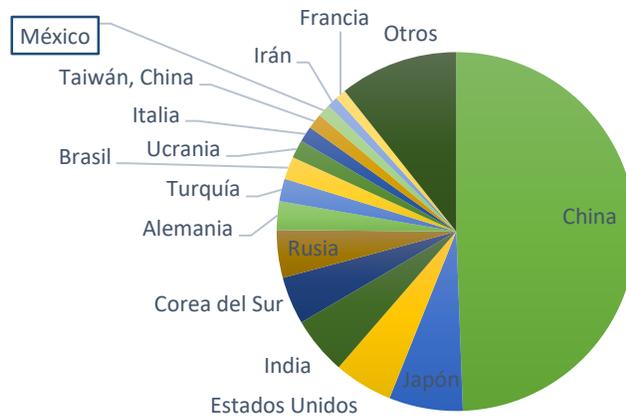
Ilustración 1.5 Distribución geográfica de la producción de acero en el mundo. Traducción propia de WSA (2015c)

Respecto a la gráfica anterior, se muestra que entre México, Estados Unidos y Canadá se concentra el 7.2% de la producción de acero a nivel mundial. En temas mucho más específicos, en 2014 México estuvo posicionando en 13vo lugar como productor de acero a nivel mundial, como lo muestra la tabla 1.2 y la gráfica 1.1.

País	2014		
	Rank	Millones de toneladas (MMt)	%
China	1	822.7	49.41
Japón	2	110.7	6.65
Estados Unidos	3	88.2	5.30
India	4	86.5	5.20
Corea del Sur	5	71.5	4.29
Rusia	6	71.5	4.29
Alemania	7	42.9	2.58
Turquía	8	34	2.04
Brasil	9	33.9	2.04
Ucrania	10	27.2	1.63
Italia	11	23.7	1.42
Taiwán, China	12	23.1	1.39
México	13	19	1.14
Irán	14	16.3	0.98
Francia	15	16.1	0.97
Otros		177.7	10.67
Mundo		1,665.00	100.00

Tabla 1.2 Producción mundial de acero 2014, 15 países. Elaboración propia con datos de WSA (2015c)

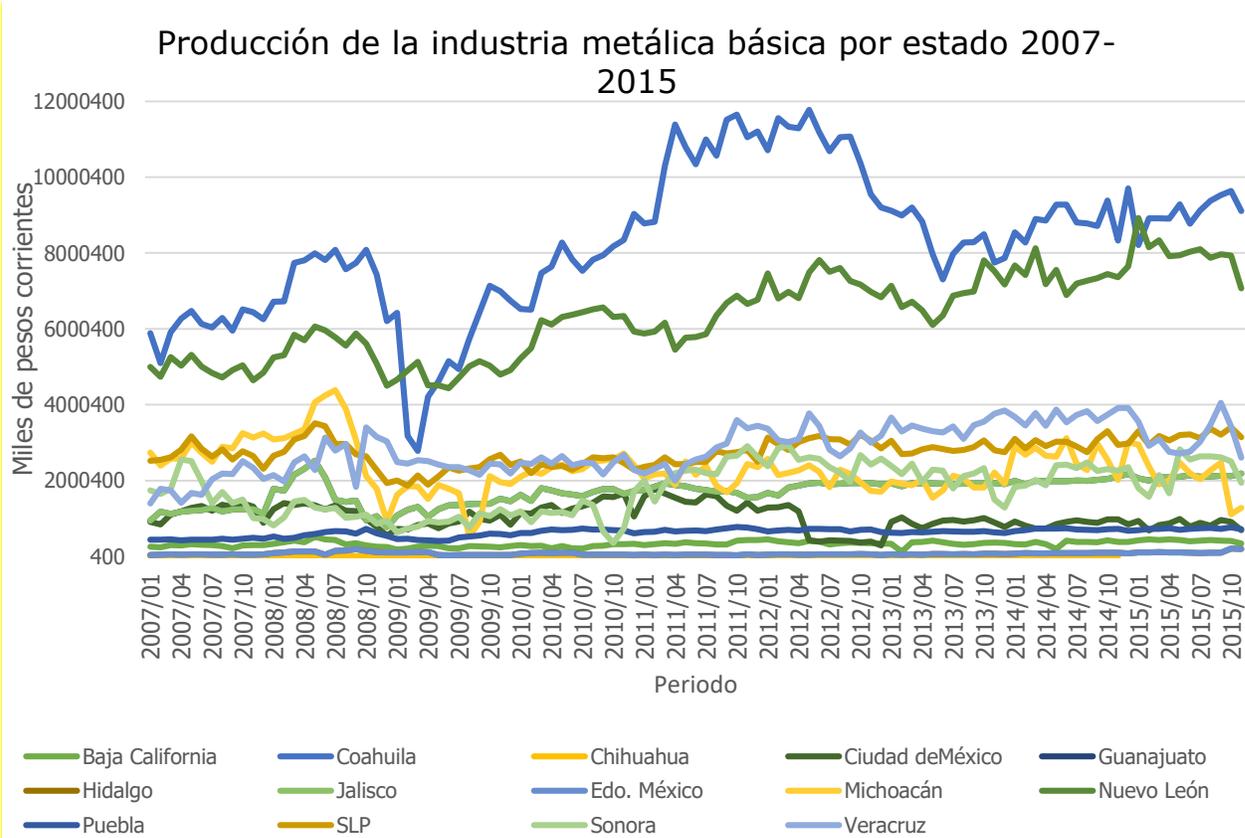
Países con mayor producción mundial de acero



Gráfica 1.1 Producción mundial de acero 2014, 15 países. Elaboración propia con datos de WSA (2015c)

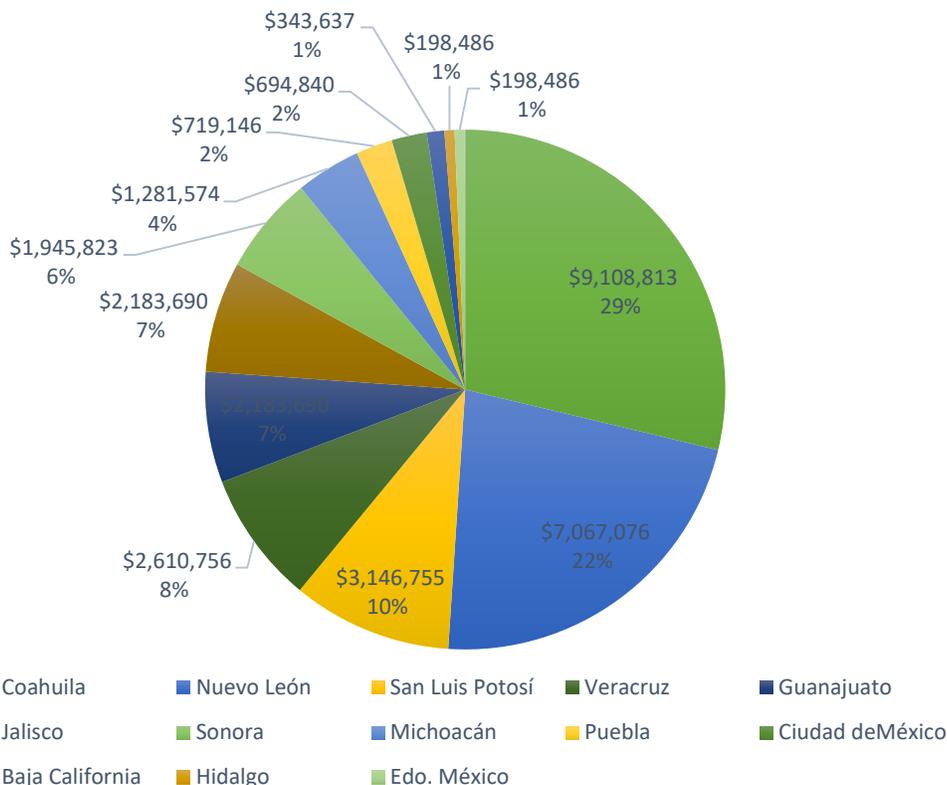
Mientras que su participación en Latinoamérica lo posiciona en segundo lugar con 28.6% del mercado, después de Brasil (Alacero, 2015).

El acero es muy importante para el desarrollo industrial y económico de México, ya que por lo menos 7 de los 32 estados de la República tienen participación activa en la industria metálica básica, es decir que consideran la fabricación de acero, algunos procesos adicionales y otras actividades relacionadas con la generación de productos de hierro y acero, por lo que podría considerarse una actividad importante en el presente con proyecciones al futuro. La gráfica 1.2 contiene la variación en el valor de producción para los estados de la República Mexicana como parte de la industria básica del hierro y del acero, mientras que la gráfica 1.3 contiene el porcentaje de participación por estado a nivel nacional para el último periodo registrado en noviembre de 2015.



Gráfica 1.2 Producción por estado 2007-2015. Elaboración propia con datos del INEGI (2015c)

Porcentaje de producción de la industria metálica básica por estado en el periodo 2015/11

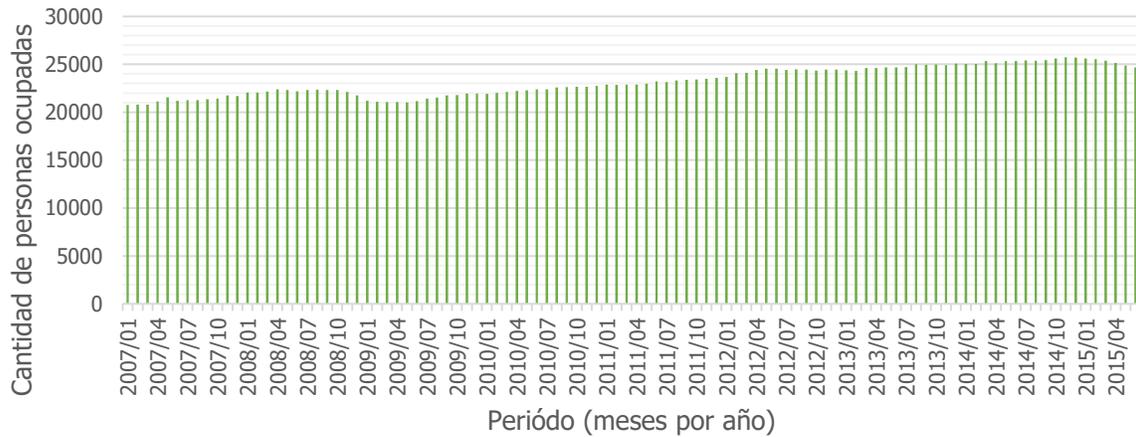


Gráfica 1.3 Porcentaje por estado, periodo 2015/11. Elaboración propia con datos del INEGI (2015c)

Dentro de la industria, el acero significa una materia prima básica para las empresas del ramo eléctrico (generación, distribución y accesorios), petrolero (transmisión, herramental e infraestructura), de transporte (automotriz, aeronáutico, marítimo), envase y embalaje, así como maquinaria, sólo por mencionar algunas, sin embargo, las empresas de construcción son las de mayor consumo, utilizando 50% del acero producido a nivel mundial (WSA, 2016).

En términos económicos y sociales, la industria del acero provee empleo a cerca de 8 millones de personas en el mundo (WSA, 2016) y tan sólo en México las 26 empresas (7 complejos siderúrgicos y 19 fábricas de ferroaleaciones) que se tuvieron registradas en 2013, emplearon a 23,460 personas (INEGI, 2013a) y esta cifra al paso de los años se ha ido incrementando según datos del INEGI, como se ve en la gráfica 1.4.

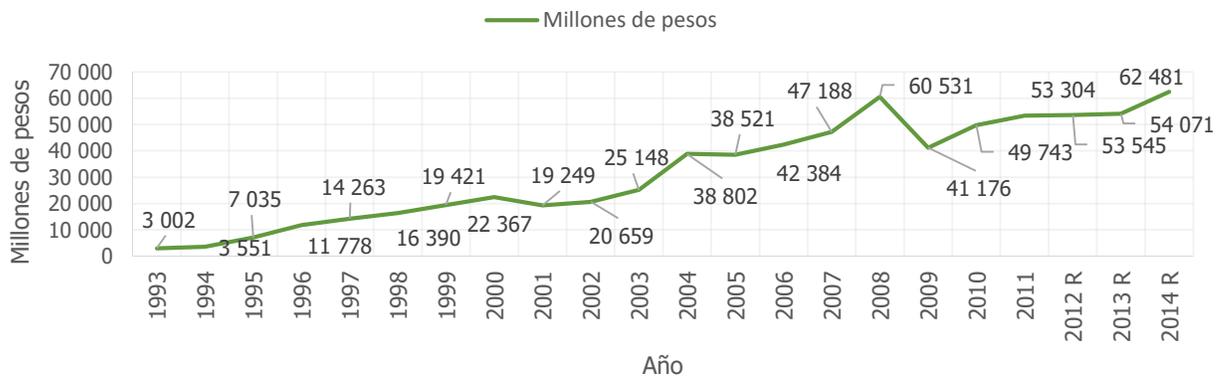
Personal requerido para la Industria básica del hierro y del acero



Gráfica 1.4 Personal requerido para la industria básica del hierro y acero. Elaboración propia con datos del INEGI (2015b)

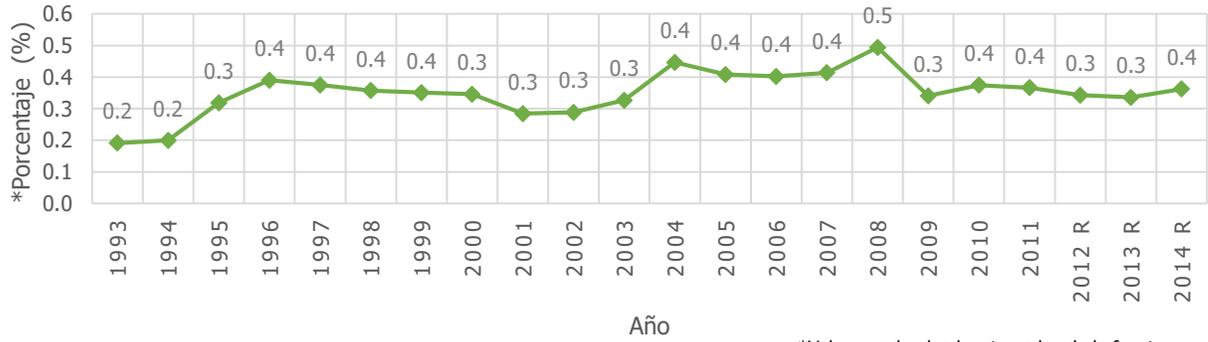
Como se mencionó anteriormente, en términos económicos, la industria del acero contribuye de forma importante con el PIB debido a su impacto en el desarrollo manufacturero. En México, esta industria tiene un aporte relevante para la economía nacional como se puede ver en la siguiente gráfica (1.5), en la cual se observa un crecimiento del PIB al paso de los años, que se puede traducir en un mayor ingreso en materia económica que podría seguir creciendo en los subsecuentes años. Por otro lado, la gráfica 1.6 brinda un panorama del porcentaje que estos valores representan a nivel nacional y su variación en el tiempo, la cual se ha mantenido en un rango de 0.2% hasta un máximo de 0.5%.

PIB de la Industria básica del hierro y del acero en México



Gráfica 1.5 PIB de la industria básica del hierro y del acero en México. Elaboración propia con datos del INEGI (2015a)

% del PIB que aporta la Industria básica del hierro y del acero en México



*Valores redondeados, tomados de la fuente

Gráfica 1.6 % del PIB que aporta la Industria básica del hierro y del acero en México. Elaboración propia con datos del INEGI (2015a)

Desde el punto de vista ambiental, el acero es el material con mayor potencial de reciclaje en el mundo (WSA, 2016), ya que puede ser recuperado al 100% para su incorporación a procesos productivos de acero nuevo, tal es el caso del horno de arco eléctrico. Según CANACERO, alrededor del 94% de la chatarra de acero es reciclada y se estima que un 5% de ésta es sujeta a reúso y remanufactura mientras que el 1% restante está esperando a ser reciclado. El reciclaje trae ventajas en la reducción del uso de mineral de hierro para la producción, dando como resultado que por cada tonelada de chatarra de acero reciclada se dejan de consumir alrededor de 1400 kg de mineral de hierro virgen, 740 kg de mineral de carbón y 120 kg de caliza (CANACERO, 2016a).

Básicamente, la producción de acero está asociada a diversos sectores de la sociedad tanto en el mundo como en México, de ahí la importancia de su estudio y del análisis del rumbo que tome esta industria con el paso de los años.

1.4 Proceso de producción

El cambio de nombre de hierro al material que conocemos como acero se debió principalmente a un cambio en la dureza y resistencia del material trayendo consigo, la implementación de nuevos procesos y elementos aleantes no utilizados anteriormente.

Los procesos productivos de acero han ido cambiando a lo largo de los siglos como se ilustra en la línea del tiempo de la sección 1.1 y cada uno con diferentes aportaciones, favoreciendo la eficiencia, el volumen o la rapidez de producción. Hoy en día son tres los procesos más utilizados alrededor del mundo, dos de ellos son sistemas integrados, donde se obtiene el hierro por medio de alto horno que posteriormente se transformará en acero, todo dentro del mismo complejo siderúrgico, los procesos que tienen este principio son:

- Alto horno-Hogar abierto (AH-HA) o Blast furnace-Open heart (BF-OH)
- Alto horno-Convertidor básico al oxígeno (AH-CBO) o Blast furnace-Basic oxygen furnace (BF-BOF)

El tercer proceso es el Horno de arco eléctrico (HAE) en el cual se utiliza hierro producto del proceso de Reducción directa del hierro (RDH) y chatarra.

En la siguiente ilustración 1.6 se resumen los procesos por los cuales se puede producir acero. Tomando en cuenta los elementos que están involucrados, éstos se dividen en tres etapas:

1. Fabricación de hierro
2. Fabricación de acero
3. Manufactura



Ilustración 1.6 Procesos más utilizados para producción de acero. Traducción propia y modificación de WSA (2013)

Los elementos implicados para la fabricación de acero pueden estar integrados en un mismo complejo siderúrgico o tener plantas específicas para la transformación de carbono en coque, mineral de hierro aglomerado en pélets (canicas de 10 mm de diámetro aproximadamente) y sínter cuyos polvos permiten la fundición de los materiales en el alto horno.

Por otro lado, se requieren, entre otras plantas, la de generación de oxígeno que permiten establecer el contenido específico de carbono en el acero, la planta de recuperación, tratamiento y recirculación de agua, así como la de abastecimiento de energía eléctrica para impulsar la parte mecánica de la planta que hace posible la regeneración y recirculación de gases (Breña, 1996).

Las principales materias primas implicadas en el proceso son el hierro y el coque. En cuanto al hierro, posterior a la extracción, éste se tiene que limpiar para eliminar la mayor cantidad de impurezas y peletizar para ser posteriormente cocido hasta obtener la dureza necesaria. A la par de este proceso se realiza la transformación de carbono en coque. Estos elementos, son enviados a través de bandas o contenedores hacia el horno, sea alto o eléctrico.

El proceso de alto horno se inicia con la fundición de hierro, mejor conocido como **arrabio**, posteriormente, adicionando coque, caliza y sínter, cuya función es ayudar a que el hierro se funda en el interior del horno y favorecen la producción de escoria para la eliminación de impurezas que flotan en la superficie del metal líquido. En este proceso se suministra aire caliente con una temperatura de 1100°C aproximadamente que al combinarse con carbono y oxígeno puede llegar hasta 2200°C (Secretaría de Economía (SE), 2014).

Posteriormente se pasa al convertidor para la etapa de aceración siendo el CBO y de HA los más populares en este proceso integrado.

En este tipo de convertidores lo que se buscan es la reducción de carbono en la aleación, eliminando impurezas (silicio, fósforo, azufre) y añadiendo elementos, así como chatarra de acero para aumentar el volumen. En la siguiente tabla (1.3) se mencionan algunas diferencias entre estos convertidores para una mayor comprensión.

Convertidor	Características
CBO o BOF	Horno creado por Sir Henry Bessemer a mediados de 1850. Es un horno un recubrimiento refractario de la línea básica y en el que en vez de inyectar aire a presión como se hacía antiguamente, se inyecta oxígeno, lo que permite elevar mucho más la temperatura en un tiempo aproximado de 15 min. La carga del horno está constituida por 75% de arrabio y el resto de chatarra y cal. La temperatura de operación de este horno es superior a 1650°C y es considerado el sistema más eficiente para la producción de acero de alta calidad y elevada pureza, exentos de hidrógeno, fósforo y azufre.
HA o Siemens-Martin	Horno desarrollado en 1868 por Friedrich Siemens en Alemania y en ese mismo año Pierre Martin en Francia mejoro el diseño. Son hornos de reverbero revestido por material refractario. Tiene forma rectangular y utiliza como combustible gas de coque con cuatro cámaras recuperadoras de calor, que permiten alcanzar altas temperaturas y economizar en combustible al calentar las paredes de ladrillo alcanzando 1000-1150°C y durante la combustión, hasta 1800°C. Al arrabio se le puede agregar chatarra, mineral de hierro o ambos. Si el arrabio tiene elevados porcentajes de fósforo o azufre, se agregan fundentes básicos (caliza o dolmita) y si se busca reducir el porcentaje de manganeso, se agregan fundentes ácidos (cuarzo o arena). En este horno las llamas no solo ejercen una acción calefactora, sino también química ya que del combustible y aire se obtiene una atmósfera oxidante, reductora o neutra.

Tabla 1.3 Diferencias entre convertidores. Elaboración propia con datos de Katz (2011)

Después de ser verificado el porcentaje de carbono, el acero se vacía en contenedores que además de transportarlo, buscan adicionar elementos que integren la composición química final según el tipo de acero demandado (esta parte del proceso es también conocida como afinado o afino).

Finalmente, la elaboración básica de acero, termina con la colada continua en moldes con tamaños específicos (subproductos o semiterminado), enfriados con agua, estos modelos estándar son conocidos como palanquilla, tocho o planchón que tienen concentraciones de carbono específicas y elementos aleantes requeridos.

Otra forma por la cual puede partir el proceso de elaboración de acero es por HAE que en su mayoría utiliza chatarra y mineral de hierro con la variante de utilizar previamente la reducción directa de hierro (RDH).

Esta última consiste en la remoción del oxígeno del óxido de hierro a partir de reductores como carbono, monóxido de carbono e hidrógeno. El mineral de hierro y los pélets descienden por gravedad y el gas con una temperatura de 900°C, asciende en contraflujo originando la reducción de estos, al término se

obtienen productos como hierro esponja o **ganga** (contiene Fe metálico), óxido de hierro y carburo de hierro (SE, 2014).

Este tipo de hierro se lleva al horno eléctrico donde se adiciona chatarra (si el contenido de carbono en la chatarra es bajo, se puede agregar coque o utilizar electrodos de carbono) y aleantes, el arco eléctrico puede generar un calor que funde a 1650°C (SE, 2014) capaz de quemar impurezas e integrar todos los elementos.

El acero producto por HAE también se refina con la finalidad de obtener mejor calidad y homogeneidad, este proceso desgasifica el acero, que puede contener oxígeno, nitrógeno e hidrógeno adquiridos en el proceso y que pueden afectar la calidad dando paso a defectos. La desgasificación se da en presencia de vacío o haciendo pasar gas argón.

Nuevamente este proceso termina en la colada continua, generando un mayor aprovechamiento del acero para productos semiterminados, así como la garantía de uniformidad en la composición.

El mercado mundial del acero es altamente competitivo, ya que es un producto commodity, pues a partir de este material se pueden generar una gran cantidad de subproductos a nivel mundial.

Capítulo 2. Análisis de las tecnologías de producción de acero en México

Este capítulo contiene la información correspondiente a las tecnologías más importantes de producción de acero en México y una perspectiva a nivel mundial. A partir de este tema, se mencionan los insumos requeridos para producir acero y principalmente los combustibles necesarios en el proceso, cuyos gases se clasifican entre los de efecto invernadero (GEI).

Las ventajas y desventajas de los procesos productivos, también serán mencionadas en este tema.

2.1 Tecnologías de producción

En el mundo, las tecnologías de producción de acero han ido cambiando dependiendo de la demanda, las innovaciones en materia de herramental y equipo, así como el marco regulatorio por país o región. Hoy en día las técnicas de producción más importantes son las de HAE, AH-CBO y AH-HA.

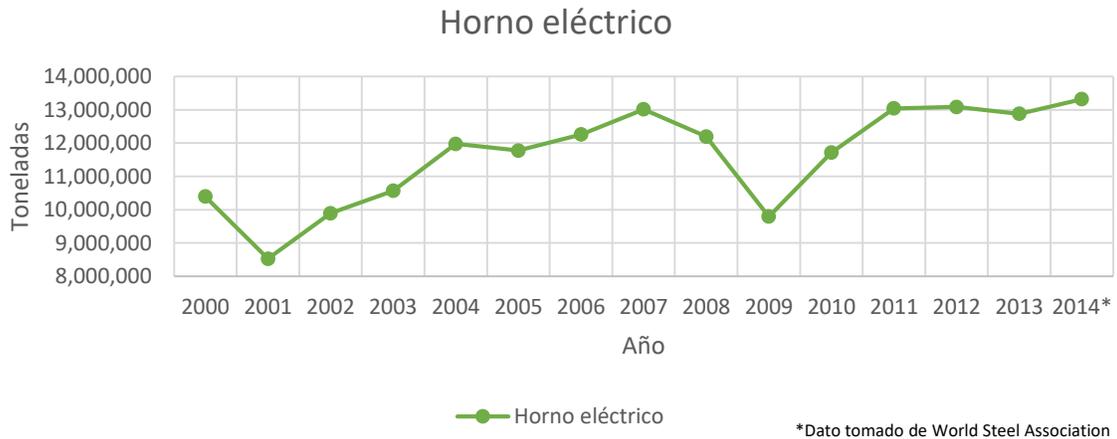
El CBO, es el más popular a nivel mundial con 73.9% del mercado, seguido por el HAE con 25.6%, 0.5% para el de HA y 0.1% con otros métodos de producción según datos de World Steel Association, cuya producción anual fue equivalente a 1663.2 MMt en 2014 (WSA, 2015c).

En la siguiente tabla (2.1) se muestran los principales procesos de producción que utilizan los 15 productores más importantes de acero en el mundo, mencionados en el capítulo 1 (tabla 1.2).

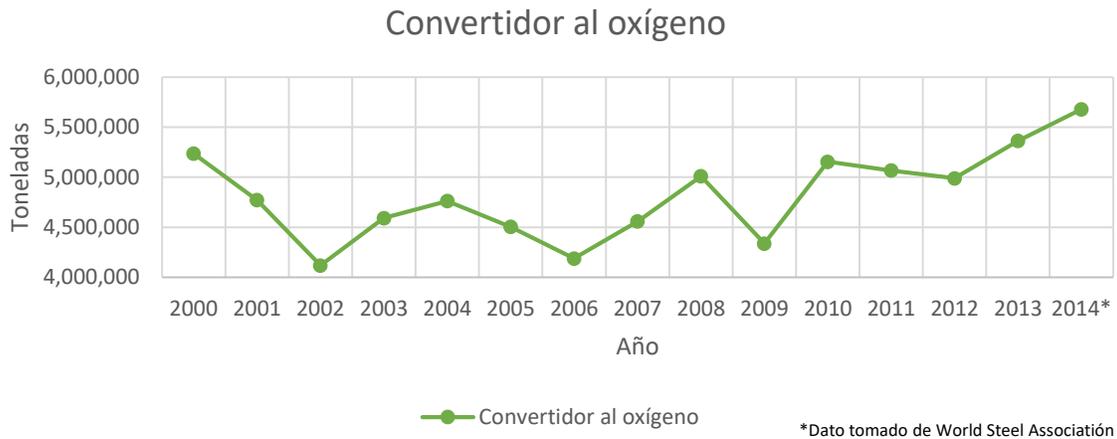
País	MMt	%Oxígeno (CBO)	%Horno eléctrico	% Hogar abierto	%Otros
China	822.7	93.9	6.1	-	0.1
Japón	110.7	76.8	23.2	-	-
Estados Unidos	88.2	37.4	62.6	-	-
India	86.5	42.3	57.6	0.1	-
Corea del Sur	71.5	66.2	33.8	-	-
Rusia	71.5	66.6	30.6	2.8	0.1
Alemania	42.9	69.6	30.4	-	-
Turquía	34	30.2	69.8	-	-
Brasil	33.9	75.5	23	-	1.5
Ucrania	27.2	73.4	6.2	20.5	-
Italia	23.7	27.5	72.5	-	-
Taiwán, China	23.1	58.6	41.4	-	-
México	19	29.9	70.1	-	-
Irán	16.3	16.7	83.3	-	-
Francia	16.1	65.9	34.1	-	-

Tabla 2.1 Procesos productivos en el mundo 2014, 15 países. Elaboración propia con datos de WSA (2015c)

En México del total de acero producido, la generación a partir de HAE es la principal, con una contribución del 70.1% o 13.319 MMt y el restante a partir de AH-CBO con 5.681 MMt, según datos del 2014. Así mismo el uso de estos dos procesos en México ha cambiado constantemente a través del tiempo, como se refleja en las siguientes gráficas 2.1 y 2.2.



Gráfica 2.1 Horno eléctrico. Elaboración propia con datos del INEGI (2014a), Servicio Geológico Mexicano (SGM,2015) y WSA (2015c)



Gráfica 2.2 Convertidor al oxígeno. Elaboración propia con datos del INEGI (2014a), SGM (2015) y WSA (2015c)

Estas variaciones en cuanto a volúmenes de producción pueden estar asociados principalmente a la economía del país, la demanda de estos productos, un alza en insumos básicos de generación de acero o la comercialización del producto en el mercado.

2.2 Insumos

Para lograr la fabricación de acero, es necesario utilizar diversos materiales, tanto los que están involucrados directamente en el proceso como coque, caliza, hierro, chatarra de hierro, entre otros, como los que se consideran auxiliares en el desarrollo del proceso. Los elementos más importantes que permiten la producción de acero mencionados en este apartado son:

- Materias primas generales
- Combustibles y energía eléctrica
- Agua

Dependiendo del proceso que se quiera realizar, varían las cantidades de materia prima (WSA, 2014a). Para producir 1 ton (1000 kg) de acero por medio de AH-CBO se necesitan en promedio:

- 1,400 kg de mineral de hierro
- 800 kg de carbón transformado en coque
- 300 kg de caliza
- 120 kg de acero por reciclar

A partir de estos elementos se genera un flujo de material, donde se generan desechos, consumo de energía y demás elementos que influyen en la fabricación de acero, como se ve en la siguiente imagen (2.1).

<u>Energía</u>	19	MJ / kg producto
<u>Materias primas</u>		
Ganga de hierro	1500	kg / t producto
Piedra caliza	225	kg / t producto
Carbón (en forma de coque)	750	kg / t producto
<u>Emisiones</u>		
Escoria	145	kg / t producto
Escoria granulada	230	kg / t producto
Agua residual	150000	l / t producto

Ilustración 2.1 Emisiones dentro del flujo de producción de acero con datos de Medina (2006)

En esta ilustración varían muy poco las materias primas requeridas para producir una tonelada de acero por medio del proceso de convertidor básico al oxígeno, pero lo que más destaca son las emisiones que se registran en este proceso, como son, la escoria y los gases, los cuales dan pauta para el análisis ambiental del siguiente capítulo.

Por otro lado, si se busca hacer la producción de 1 ton de acero crudo por RDH-HAE, en promedio se requieren (WSA, 2014a):

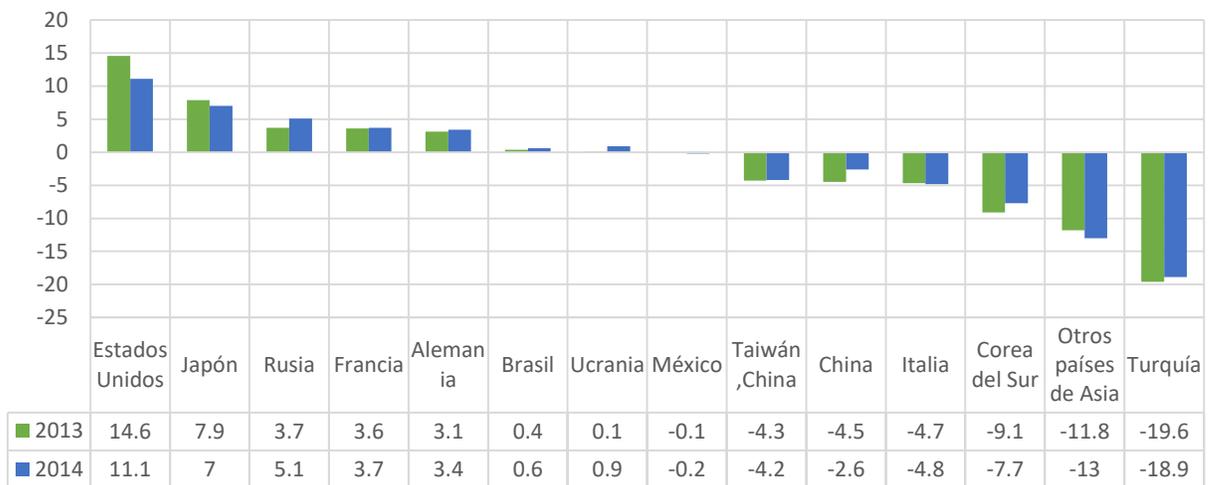
- 880 kg de acero reciclado
- Arrabio o hierro esponja (aprox. 240 kg)
- 16 kg de coque
- 64 kg de caliza

De los cuales aproximadamente se generan 200 kg de escoria.

La chatarra en este proceso de transformación resulta clave para disminuir el uso de materias primas vírgenes y reciclaje de materiales en desecho. Según el AISI, el porcentaje de chatarra que se puede agregar varía según el proceso que se siga, para la producción por CBO se puede adicionar como máximo un 35% de chatarra mientras que para el horno de arco eléctrico puede ser la carga total. La chatarra de acero es 100% reciclable y es el material más reciclado en el planeta (AISI, 2016).

La siguiente gráfica (2.3) refleja la situación de la chatarra para producir acero con base nuevamente en los 15 principales productores analizados en este documento, cabe resaltar que en otros países de Asia se encuentran productores como India e Irán que fueron citados con anterioridad.

Balanza comercial de chatarra (exportación-importación)



Gráfica 2.3 Balanza comercial de chatarra (exportación-importación). Elaboración propia con datos de WSA (2015c)

Por un lado, en cuanto a las actividades comerciales, la chatarra puede significar un negocio rentable para países con una cadena logística de recuperación de chatarra bien definida como Estados Unidos, que a su vez tiene un porcentaje amplio en el uso de horno de arco eléctrico como medio de producción de acero, el cual además de abastecer su propia demanda, demuestra que provee a otros países con su balanza comercial de chatarra ferrosa positiva. México según estos datos, tiene un déficit de entre -0.1 y -0.2, lo que significa que requiere comprar chatarra a otros países siendo su principal forma de producción el horno de arco eléctrico.

Por otro lado, la comparación entre residuos generados por ambos procesos, se muestran en la siguiente ilustración (2.2), donde claramente el proceso de HAE genera una menor cantidad de materiales de desecho:

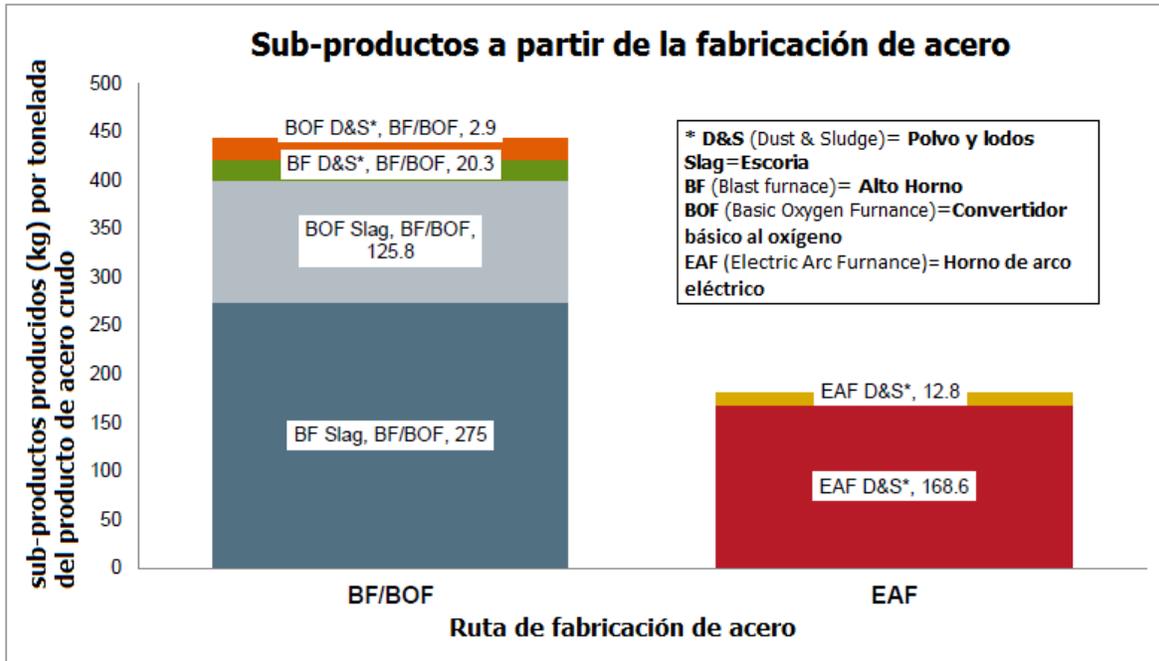


Ilustración 2.2 Sub-productos a partir de la fabricación de acero. Traducción propia de WSA (2014b)

La generación de lodos, escoria y polvos del proceso de horno de arco eléctrico, en promedio, es solo la mitad de lo que se genera por alto horno, también requiere menos materiales y es el más utilizado en México.

Si se busca establecer un análisis de combustibles y electricidad en la industria, se debe hablar previamente del consumo energético, el cual está compuesto por ambas fuentes que dan un panorama general en unidades de energía (petajoules PJ) del consumo total.

La industria básica del hierro y del acero es la rama con mayor consumo de energía del sector manufacturero en México, donde tan solo en 2014 según la Secretaría de Energía (SENER) y su Balance Nacional de Energía (BNE), registra a este sector en el primer lugar por su intensidad energética, como se muestra en la siguiente ilustración (2.3).

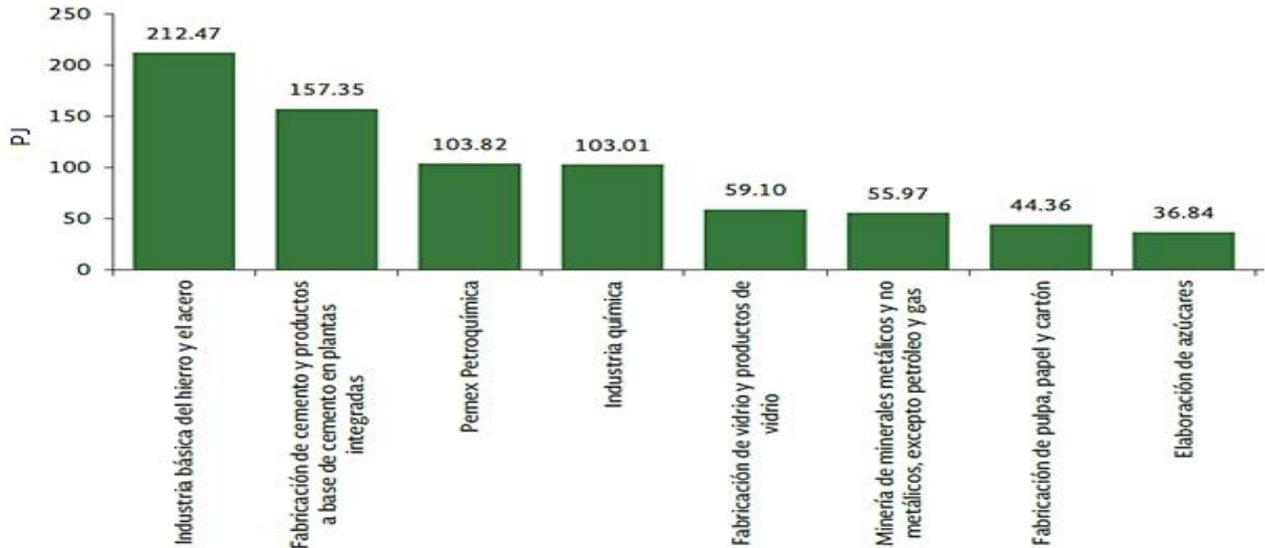
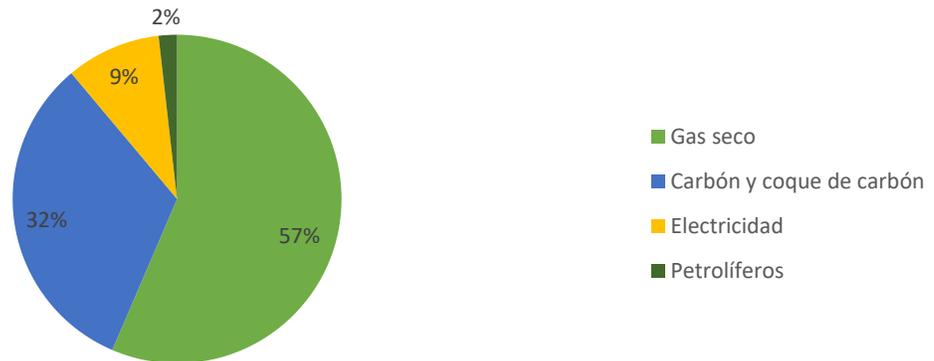


Ilustración 2.3 Consumo energético de las principales ramas manufactureras. Segmento de tabla con modificación propia, SENER (2014a)

La industria básica del hierro y el acero tuvo un consumo de 212.47 PJ que representó el 13.6% del consumo industrial para el año 2014 (SENER, 2014a), a partir de este dato total se pueden extraer los porcentajes correspondientes a combustibles y energía requeridos, siendo el gas seco (gas natural) el combustible más utilizado en la industria, como lo muestra la siguiente gráfica (2.4):

Energéticos utilizados en la industria del hierro y del acero



Gráfica 2.4 Energéticos utilizados en la industria del hierro y del acero. Modificación con datos redondeados de la SENER (2014a)

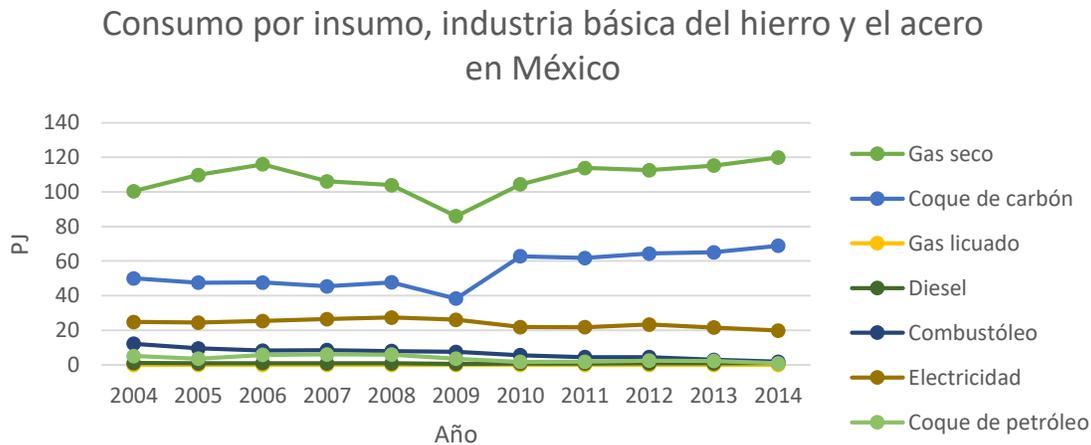
En cuanto a insumos, el mismo BNE hace énfasis en los combustibles que forman parte de la anterior gráfica, los cuales además de proveer calor por medio de la combustión, funcionan como agentes reductores fundamentales en el proceso. Mismos que se describen a continuación (SENER, 2014a):

- **Gas seco o gas pobre:** Mezcla de hidrocarburos gaseosos obtenida como subproducto del procesamiento del gas natural o de la refinación del

petróleo. Se compone principalmente por metano y contiene pequeñas cantidades de etano. El gas seco posee normalmente una relación gas-petróleo que excede 100 000 scf/STB².

- **Coque**
 - **Coque de carbón:** Combustible sólido, con alto contenido de carbono, obtenido de la destilación del carbón siderúrgico. Se clasifica de acuerdo con su tamaño en metalúrgico, nuez y fino.
 - **Coque de petróleo:** Combustible sólido y poroso, de color que va del gris al negro, aproximadamente con 92% de carbono y 8% de ceniza, que se obtiene como residuo en la refinación del petróleo.
- **Petrolíferos**
 - **Gas licuado:** Combustible que se obtiene de la destilación del petróleo y del tratamiento de los líquidos del gas natural. Incluye butano y propanos.
 - **Diésel:** Combustible líquido que se obtiene de la destilación del petróleo entre los 200° y 380° C.
 - **Combustóleo:** Combustible residual de la refinación del petróleo. Abarca todos los productos pesados y se incluye el residuo de vacío, Virgin Stock, residuo de absorción y residuo largo.

La variación en el uso de estos combustibles o fuentes energéticas, para la industria básica del hierro y el acero se muestra en la siguiente gráfica (2.5), en la cual se reflejan las fluctuaciones respecto al consumo de energía del sector, en petajoules (PJ).



Gráfica 2.5 Consumo por insumo, industria básica del hierro y el acero en México. Elaboración propia con datos de la SENER (2014a)

En general, el uso de consumo en petrolíferos para esta industria va a la baja, combustóleo, coque de petróleo, diésel y gas licuado disminuye con el paso de los años, debido a una tendencia en la industria de disminución de costos con beneficios ambientales.

² Scf=Pies cúbicos estándar y STB= barriles a condición estándar

En cuanto al uso de combustóleo, el problema con el que la mayoría de las industrias se enfrenta al querer alimentar sus quemadores de flama, es el alto contenido de azufre presente en la mezcla, ya que, desde su origen, este combustible debe tener 4% en peso máximo de azufre (Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), 2014a).

El coque de petróleo pese a su alto poder calorífico, tiene un alto contenido de azufre, níquel y vanadio. Dado que su materia prima son los residuos de la destilación del petróleo, su producción va ligada con la producción de combustóleo (IMP, 2014a).

El diésel utilizado en esta industria lleva el nombre de diésel industrial de bajo azufre, cuyo contenido máximo de este compuesto es de 500 mg/kg y predominan los hidrocarburos no volátiles de tipo parafínico (IMP, 2014a).

Por otro lado, el gas licuado con una mezcla aproximada de 60% propano y 40% de combinación de butanos, así como 140 ppm (en peso máximo) de azufre en la mezcla, nuevamente tiene rastros de azufre, lo que genera una disminución en su uso. Para mayor información respecto al análisis fisicoquímico o compuestos de los anteriores combustibles, revisar el apéndice, apartado 1.

Si comparamos los combustibles que van a la baja en uso para la industria del hierro y del acero (combustóleo, coque de petróleo, diésel y gas licuado), podemos observar que la presencia de azufre en los mismos es determinante en el consumo presente y futuro, debido a que el azufre contenido en estos combustibles fósiles es considerado precursor de gases de efecto invernadero, lo que significa que al mezclarse con otros elementos genera gases de este tipo. Uno de los gases precursores que se liberan como producto de la concentración de azufre en los combustibles, es bióxido de azufre (SO_2) (INECC, 2010b).

Finalmente, para el caso del agua que se utiliza en esta industria, existen diversas fuentes que únicamente establecen el uso del agua dentro del proceso sin enfatizar en datos numéricos que dependan de la cantidad de acero que se produce por empresa y específicamente por el uso generalizado de plantas residuales.

Asociado con el manejo de agua por empresa, según datos de 20 miembros de World Steel Association encuestados en el año 2011 (WSA, 2015b) dieron como resultado que en las plantas integradas donde se incluyen procesos tales como AH-CBO o de HA genera un gasto total promedio de 28.6m^3 de agua por tonelada de acero producido, del cual se recuperan en promedio 25.3m^3 .

El agua para este proceso es fundamental ya que forma parte de la eficiencia asociada al enfriamiento de partes principales y auxiliares del AH como las válvulas de gases, paredes del horno, entre otras.

En cuanto al proceso por HAE, requiere en promedio 28.1m^3 de agua por tonelada producida de acero cuya recuperación se encuentra en 26.5m^3 de agua, en promedio. Para este proceso es necesaria el agua, ya que los electrodos y soportes tienen un sistema de enfriamiento que es abastecido por la parte superior del horno.

Si se analiza cada proceso respecto al consumo y la recuperación de agua, se tienen pérdidas durante la generación de acero, para las plantas integradas la pérdida de agua promedio es de 3.3m³ debido a la evaporación como principal factor, en cuanto al HAE hay pérdida de 1.6m³. Con base en esto, se concluye que, en cuanto a recuperación de agua, este último proceso resulta ser más eficaz por la disminución en gasto del líquido por vía de vapor, que es también considerado un gas de efecto invernadero y que a su vez requerirá menos aportación de agua para comenzar de nuevo el ciclo de generación de acero.

2.3 Ventajas y desventajas

Después de conocer tanto los insumos como los elementos que participan en el proceso de producción de acero, podemos simplificar datos relevantes que ayuden a definir ventajas y desventajas entre los procesos, en la siguiente tabla (2.2) se comparan los dos procesos de generación de acero más importantes en México, AH-CBO y RDH-HAE.

Análisis entre tipos de producción de acero		
Aspecto	AH-CBO	RDH- HAE
Aparición en México	1857 ³	1950 ⁴
Producción en MMt/año (2014)	5.681	13.319
Combustibles requeridos	Coque de carbón, coque de petróleo, gas natural (gas seco) y en menor proporción, gas licuado, diésel y combustóleo	Gas natural (gas seco) y Coque de carbón
Insumos básicos	Mineral de hierro en forma de pélets, fundentes (caliza, óxidos, carbonatos), chatarra de hierro y aire enriquecido con oxígeno	Mineral de hierro en forma de pélets, carbón mineral, fundentes, chatarra de hierro y reductores (H, C, o CO)
Porcentaje máximo de chatarra por carga	35%	100%

³ Hasta donde se tienen noticias certeras, la primera ferrería que utilizó exitosamente un alto horno fue la de “El salto”, ubicada en Valle de Bravo. Su funcionamiento se extendió entre 1857 y 1908 (Breña, 1996).

⁴ En los años cincuenta resurgió el interés en muchos países por el desarrollo de tecnologías para producir hierro esponja. Un gran impulso salió de México, donde la compañía HYLSA fue pionera de un proceso de reducción directa (Martínez, 1997).

Gases de efecto invernadero producidos por proceso	CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O	CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O
Tiempo de producción por carga	6-8 horas para que las materias primas desciendan a la parte inferior del horno, donde se convierten en producto final. Una vez que se inicia la producción por este método la actividad se ejecuta de forma continua de 4-10 años y sólo se detiene para realizar mantenimiento (IIMA, 2016)	Para hornos con capacidad de 150 toneladas, la fundición dura entre 40-90 min
Electricidad requerida	Energía requerida para desarrollar las actividades secundarias dentro de la empresa	Aprox. 200,000 [A] y entre 50 y 500 [V] (MTU, 2010) más energía requerida para desarrollar actividades secundarias dentro de la empresa
Gasto de agua promedio en m³ (perdidas al final del proceso)	3.3	1.6

Tabla 2.2 Análisis entre tipos de producción de acero

En cuanto a la capacidad instalada, la industria del hierro y del acero en general reportó un rango de 79% en el año 2009, siendo su peor cifra debido a la crisis económica, y hasta un 88.5% en 2007 (INEGI, 2015b). En tanto, para 2015 la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera (EMIM) reportó un promedio de 80.1%, sin contemplar aún el mes de diciembre del mismo año.

Teniendo en cuenta el año de aparición en el mercado mexicano de cada proceso productivo, podríamos decir que el horno de arco eléctrico se ha ido posicionando con cerca del 70% del mercado en menos de un siglo de desarrollo en México.

Este dato está ligado con las ventajas que el horno de arco eléctrico ofrece en materia de eficiencia y economía con respecto al alto horno, ya que en este proceso, tanto el hierro esponja como la chatarra pueden generar acero nuevo en poco tiempo, el gasto en agua es menor porque la mayor parte circula en el proceso y vuelve a regresar para iniciar el ciclo, finalmente se utiliza en gran medida el gas natural, el cual causa un menor impacto en el ambiente, en comparación con otros combustibles fósiles. Sin embargo, el alto consumo eléctrico para el proceso, impacta en tarifas económicamente menos atractivas

y métodos de producción con especificaciones de horario debido a la demanda eléctrica de esta rama.

Si se habla de la producción por AH-CBO, se debe tomar en cuenta que el hierro mayormente utilizado proviene de materia virgen que incluye procesos previos, también, que al producir acero se requiere un mayor número de combustibles que al mezclarse o generar una combustión incompleta, tendrán un impacto mayor en el ambiente, trayendo consigo gases de efecto invernadero. Otro factor importante durante la fabricación por este medio, es el tiempo de producción que es mayor respecto al del HAE y además, el AH no pueden disminuir su temperatura.

Finalmente, en cuanto a aspectos técnicos, se puede decir que el proceso por RDH-HAE utiliza una menor cantidad de combustibles contaminantes y agua, en comparación con el proceso de AH-CBO. Sin embargo, se debe hacer un análisis en términos ambientales y económicos.

Capítulo 3. Análisis económico, social y ambiental de la industria del acero

El estudio económico, ambiental y social será estudiado en este capítulo junto con las implicaciones que la producción de acero conlleva. De igual forma se mencionan las ventajas económicas y sociales en las que la industria del acero impacta.

3.1 Impacto económico

Por un lado, la industria del acero tiene gran aporte sobre la economía nacional con 6.4% al PIB industrial y 12.2% para el PIB manufacturero, lo que representó 62,481.141 MMdp de acuerdo con el PIB total de 2014 (INEGI, 2015a), por otro lado, se deben conocer las condiciones económicas bajo las que trabaja, al tomar en cuenta algunos costos estimados y relacionados con sus insumos, así como su aportación a nivel mundial con las **exportaciones** e **importaciones**. Es preciso recordar que la industria del acero con base en su producción y consumo suele utilizarse como indicador de desarrollo industrial del país (Breña, 1996).

El impacto económico se puede estudiar de manera externa e interna, la primera será desarrollada por medio de la balanza comercial y la situación que vive México, tanto en exportaciones como en importaciones de acero, mientras que el impacto interno tiene su estudio en la economía de la industria acerera en nuestro país respecto al mundo.

Las exportaciones e importaciones que un país genera para algún sector en específico, se registra por medio de la balanza comercial, la cual nos indica la posición de un país en cuanto a su demanda de productos (exportaciones menos importaciones). Por ello, es recomendable que las exportaciones sean mayores que las importaciones, ya que se estaría hablando de un superávit o balanza comercial saldable.

Para el caso de este análisis se tomará en cuenta la balanza correspondiente al comercio directo a partir de la producción de acero bruto, vendido o comprado por México. La siguiente ilustración (3.1) muestra este desarrollo comercial desde 2009 hasta 2015.

COMERCIO DIRECTO

BALANZA COMERCIAL DEL ACERO EN MÉXICO (Millones de Toneladas)

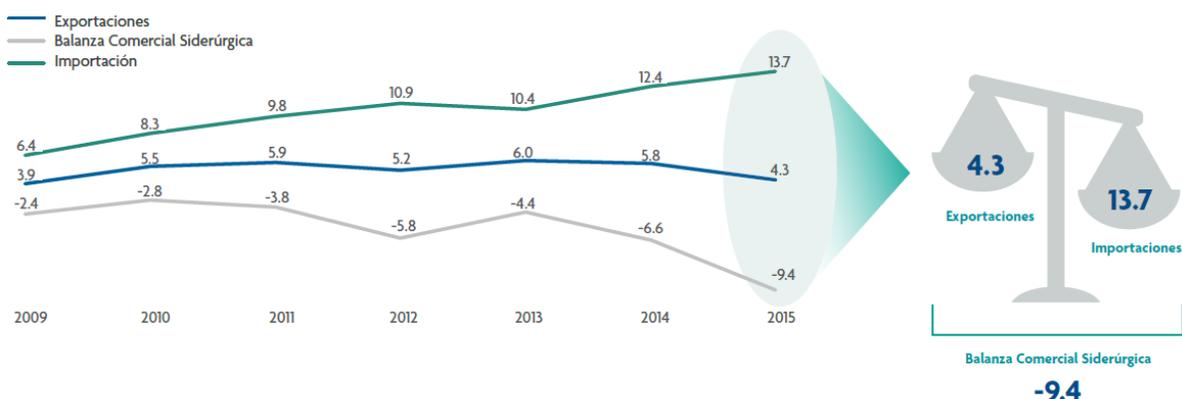


Ilustración 3.1 Balanza comercial de acero en México, Comercio directo, CANACERO (2016b)

Por medio de esta gráfica podemos conocer la situación de México, cuya diferencia entre exportaciones e importaciones resulta negativa con -9.4 MMt en 2015, lo que significa un déficit de acero en México.

Esta disminución de exportaciones contra importaciones en el sector, se puede estar generando por diversos factores. Entre los que destacan, la disminución de producción de acero dentro del país, la falta de tecnología para transformarlo en productos y el alto nivel competitivo al que se enfrenta el sector con respecto al precio y expansión de otros países.

A partir de la producción de acero en México, cuyo último registro en el año 2014 reportó una producción de 19 MMt respecto a un **consumo nacional aparente** de acero terminado de 22.5 MMt (WSA, 2015c), se dice que la demanda en México no se cubre únicamente con lo que se produce, trayendo consigo la importación del mismo u otros productos relacionados.

La falta de tecnología para la transformación a su vez depende de diversos factores, en México como se citó anteriormente, contamos principalmente con dos tipos de tecnologías que permiten la generación de acero por CBO y HAE, siendo esta última la líder en el mercado mexicano para la producción de acero bruto. Esta industria en general, tiene el potencial para generar una mayor producción según datos de INEGI (2015b), pues como se analizó en el capítulo 2, su mayor capacidad fue 88.5% en 2007, respecto a estos datos se dice que la falta de recursos tecnológicos para la producción de acero no es un impedimento para su expansión en el mercado. La eficiencia de esta industria depende del tamaño de la planta, la calidad en los insumos y la tecnología utilizada.

Por otro lado, el déficit de una industria puede estar incrementando debido a la relación con la internacionalización de los procesos productivos dirigidos por

empresas multinacionales, que han resultado en un comercio *intra-industrial* (intercambio de partes y componentes de un mismo bien) y *altos coeficientes de importación* (Echenique, 2012), es decir que los proveedores de empresas transnacionales pueden incurrir en compras internacionales de productos similares o específicos del sector, provocando una disminución en el consumo nacional, que afecta la balanza de productos directos pero favorece la de productos indirectos por la transformación de acero. La siguiente ilustración (3.2), refleja este tipo de comercio.

COMERCIO INDIRECTO

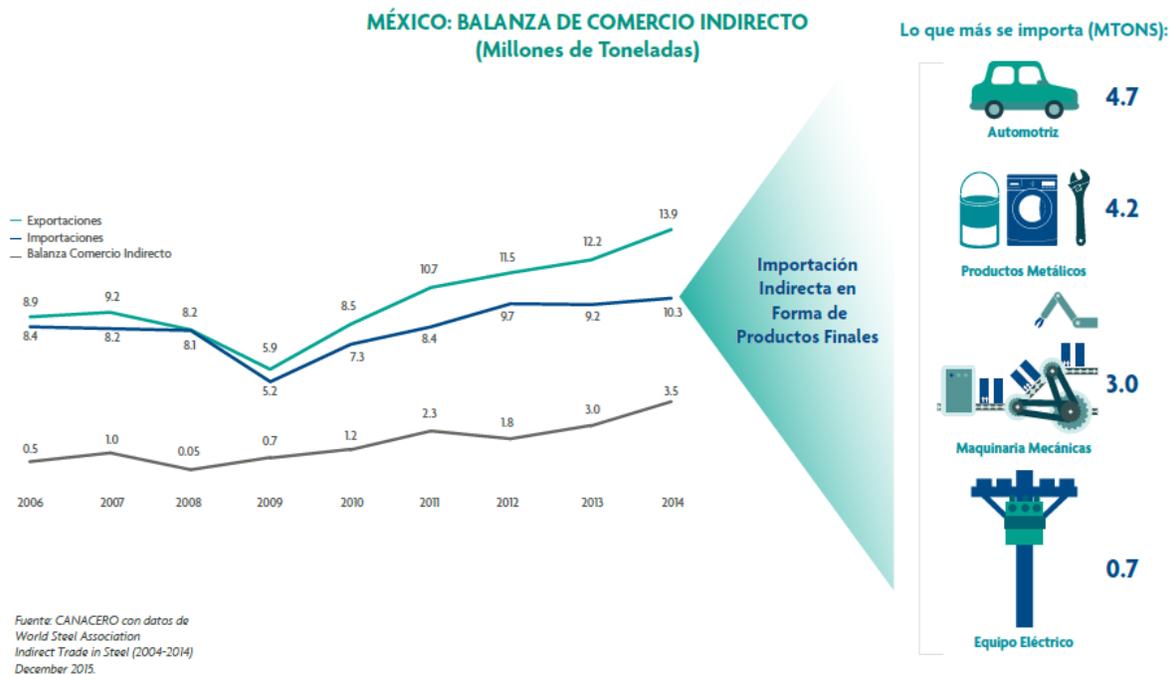


Ilustración 3.2 Balanza de comercio indirecto en México, CANACERO (2016b)

En la imagen 3.2, resaltan los productos que son transformados en México en mayor proporción, a partir de acero proveniente de exportaciones, entre ellos destaca el sector automotriz, de maquinaria y herramental.

Con base en esto, nuevamente se observa que la falta de tecnología puede no significar un problema para la industria acerera del país en términos de actividades de transformación, donde incluso se genera una mayor importación.

El último elemento analizado en este documento es la expansión del comercio de acero procedente de países que ofertan un menor precio y mayor producción, respaldados por **subsidios** del gobierno. Este tipo de prácticas es llamado **dumping**.

Respecto a este tema, el mayor ejemplo es China, que es el principal proveedor de acero a nivel mundial, favorecido por políticas comerciales e industriales

apoyadas por el estado chino (Echenique, 2012), donde el gobierno tiene control de las importaciones y beneficia las exportaciones, además de apoyar la investigación, desarrollo de infraestructura pública y mano de obra a bajo costo.

Este es un problema de competitividad desleal en materia de precio de venta del producto, del cual la mayoría de los países productores se quejan y reclaman a sus gobiernos la oportuna atención de las demandas antidumping⁵, pues al no establecer regulaciones se hace una adquisición mayor de acero proveniente del extranjero que pone en desventaja el comercio nacional.

En México, ello es considerado el mayor problema dentro de la balanza comercial del sector acero, ya que ante la ley, *se consideran prácticas desleales de comercio internacional la importación de mercancías en condiciones de discriminación de precios o de subvenciones en el país exportador, ya sea el de origen o el de procedencia, que causen daño a una rama de producción nacional de mercancías idénticas o similares en los términos del artículo 28 y 29 de la Ley de Comercio Exterior (LCE, 1993).*

Después de conocer algunos factores externos que afectan la economía del sector de producción de acero en México, tal parece que el problema más serio según los datos analizados, es el alto nivel competitivo al que el sector debe enfrentarse.

Por otra parte, los elementos internos que afectan la producción de acero tienen que ver con la disponibilidad de insumos.

Entre los insumos base requeridos para la elaboración de acero crudo, se encuentran el hierro, la chatarra ferrosa, combustibles fósiles y electricidad, siendo estos los más importantes. De igual manera se hará énfasis en la comparación entre México y los 15 mayores productores a nivel mundial en cuanto a estas mismas materias primas.

Como se mencionó en el capítulo 1 el hierro es un metal que se encuentra en México en 1% de la corteza terrestre (Breña, 1996), sin embargo, el mayor productor de este metal es Australia cuyas reservas pueden abastecer hasta el 50% de la demanda mundial (statista, 2016) siendo el principal proveedor de China (cuarto lugar en cuanto a reservas férricas).

México tuvo un consumo aparente de 6.3 MMt, pero su producción para 2014 fue de 15.3 MMt de los que se exportaron 10.1 MMt, los cuales pudieron haber sido comprados por Asia (China, Japón, específicamente) o Europa principalmente (WSA, 2015c), sin embargo, compró hierro de otro tipo (no especificado) a diferentes países de América y con esto está cubierta la demanda de hierro en México, como se muestra en la siguiente tabla (3.1).

⁵ La doctrina define diversos tipos de dumping: esporádico (por parte de un productor que tiene un excedente ocasional debido a una sobreproducción y para evitar estropear el mercado doméstico, el productor vende el excedente ocasional a los productores extranjeros a precios reducidos.), intermitente (también denominado depredador o rapaz, tiene lugar cuando un productor en un esfuerzo por eliminar competidores y ganar el control del mercado extranjero, de manera deliberada vende en el exterior a un precio reducido por un breve tiempo.) y continuo (o persistente se presenta cuando el fabricante vende de manera sistemática el producto a un precio inferior en un mercado que en otro.) (Ríos, 2008).

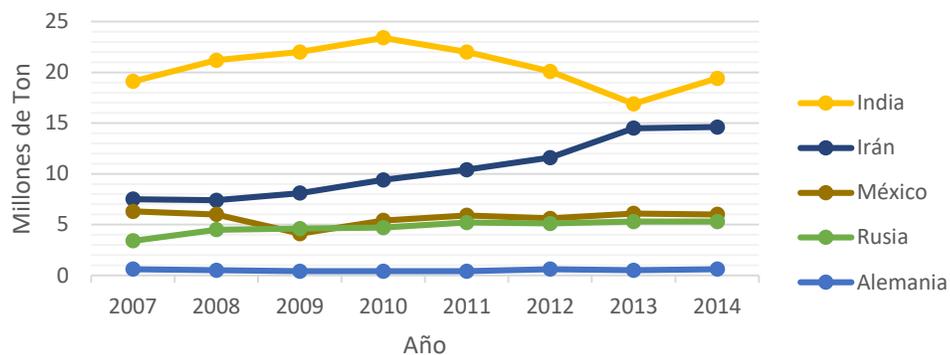
País	Producción 2014	Exportación (Menos)	Importación (Más)	Consumo aparente
China	269.2	0.1	820.2	1,089.30
Japón	-	0	135.9	135.9
Estados Unidos	52	11	3.2	44.1
India	136.1	14.4	1.1	122.8
Corea del Sur	0.6	0.2	63.4	63.8
Rusia	-	-	-	-
Alemania	0.4	0	40.9	41.3
Turquía	5.5	0.9	8.1	12.8
Brasil	364	329.6	0	34.4
Ucrania	-	-	-	-
Italia	-	0	11.5	11.5
Taiwán, China	-	-	-	-
México	15.3	10.1	1.1	6.3
Irán				
Francia	-	0.2	15.3	15.1
Australia	615	613.4	4.1	5.7

Tabla 3.1 Disposición de hierro mineral en millones de toneladas para los 15 principales productores de acero en el mundo y Australia como principal proveedor. Elaboración propia con datos de WSA (2015c)

Tomando en cuenta que el principal proceso de generación de acero en México es por HAE, se esperaría que tuviera una buena posición frente a la reducción directa. De acuerdo con las estadísticas mostradas en la gráfica 3.1, México es el tercer productor de hierro esponja, antecedido por India e Irán cuyo excedente forma parte de la materia prima con la que China puede generar acero.

Esta posición para México, puede significar una ventaja en cuanto a las materias primas para la producción de acero, además de ser una constante alineada con la forma de producción por HAE.

Producción de Hierro por reducción directa (DRI Iron)



Gráfica 3.1 Producción de hierro por reducción directa (DRI Iron). Elaboración propia con datos de WSA (2015c)

Por otro lado, en cuanto a hierro procedente de AH, México necesitó cubrir un déficit de 0.3 MMt en 2014, donde nuevamente Rusia y Brasil fueron los proveedores mejores posicionados en exportación de este tipo de hierro, como se muestra en la tabla 3.2.

País	Producción 2014	Exportación (Menos)	Importación (Más)	Consumo aparente
China	711.6	0.2	0.2	711.6
Japón	83.9	0	0.2	84
Estados Unidos	29.4	0.1	4.6	33.9
India	55.2	0.8	0	54.4
Corea del Sur	46.9	0	0.9	47.8
Rusia	51.5	4.3	0	47.2
Alemania	27.4	0.1	0.5	27.7
Turquía	9.4	0	0.9	10.3
Brasil	26.9	2.6	0	24.3
Ucrania	24.8	2.2	0	22.6
Italia	6.4	0	1.7	8
Taiwán, China	14.4	0	0.6	15
México	5.1	0	0.3	5.4
Irán	2.8	-	-	2.8
Francia	10.9	0	0.1	11

Tabla 3.2 Disposición de pig iron en millones de toneladas para los 15 principales productores de acero en el mundo. Elaboración propia con datos de WSA (2015c)

Según los datos recabados, China controla la mayor parte del mercado de hierro, pues tiene grandes reservas y sus principales proveedores son países cercanos

a su territorio como Australia, India y en cierta medida Rusia, garantizando un abasto continuo de hierro para la producción de acero.

Si se analiza el caso de México, no se cuenta con grandes yacimientos de hierro en el territorio, por lo que se tiene que establecer el abasto por compras a países de América Latina o por medio del Tratado de Libre Comercio con Canadá y Estados Unidos.

México, podría aprovechar sus recursos y evaluar el proceso de transformación como una mejor opción para obtener mayores ganancias. Por un lado, está la opción de reducción directa del hierro, donde México tiene la infraestructura, además de no correr demasiados riesgos en la variación de precio.

Otro insumo de gran importancia es la chatarra ferrosa, la cual, cada vez ha incrementado su valor en el mercado con la aparición de procesos mediante los cuales se puede disponer de la misma para la obtención de nuevos materiales como el acero, este aumento se ve reflejado en la demanda, que a su vez impacta en los precios de chatarra.

Como se analizó en el capítulo 2, Estado Unidos gracias a la regulación de desechos, la obsolescencia acelerada de productos con base acero y una cadena bien establecida de recolección, es el líder en disposición de chatarra. Este país, al igual que México tiene como principal método de producción de acero, el HAE. Por diversos factores como la logística, disposición de chatarra y abastecimiento continuo los países deben comprar chatarra en el exterior. Este es el caso de México, donde se tienen faltantes en abastecimiento de chatarra según la balanza comercial del 0.1 (2013) y 0.2 (2014) (WSA, 2015c).

La chatarra ferrosa es un insumo hasta cierto punto caro, en comparación con los materiales provenientes de una transformación de hierro mineral, el problema tiene que ver con la disponibilidad que se tiene y la frecuencia de abastecimiento en caso de querer introducirla al proceso de producción de acero. En México, no se tiene instrumentada una adecuada disposición de desechos y únicamente se provee por medios privados cuya procedencia puede ser nacional (recolectores menores) o extranjera (importación).

Por otra parte, dentro de los combustibles utilizados para la producción de acero, se encuentra el gas natural y el coque de carbón. Estos combustibles, son utilizados a nivel mundial y existe un ranking donde se conoce la cantidad de recursos que producen los países, en la siguiente ilustración del mapa 3.3 se muestra que Estados Unidos tiene la primera posición en producción de gas natural a nivel mundial con 566.85 MMt de petróleo equivalentes (MMtOe)⁶, mientras que México se ubica como productor, en el lugar dieciocho con 40.47 MMtOe.

⁶ Equivalentes a 41.868 Petajoules (10^{16} joules)

Producción de gas natural mundial 2013

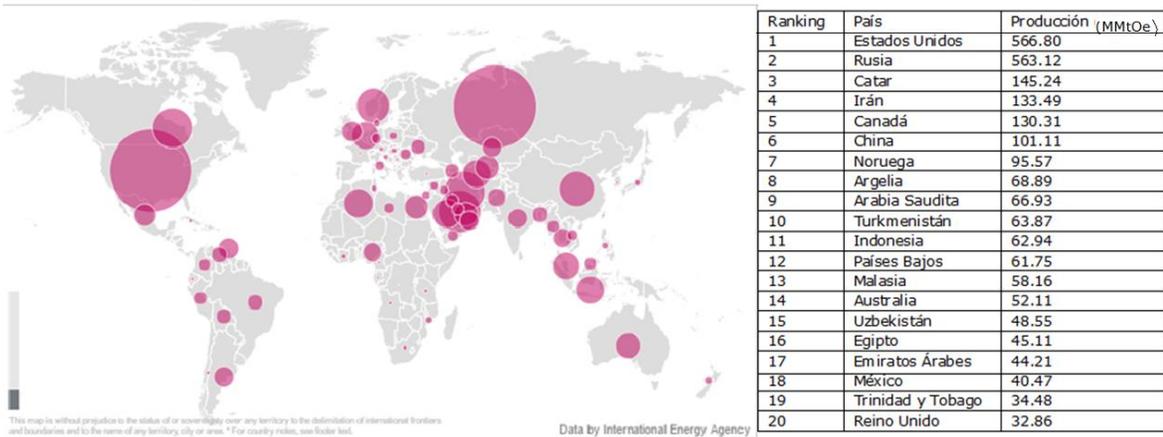


Ilustración 3.3 Producción de gas natural mundial 2013. Resumen y traducción propia con datos de International Energy Agency (IEA, 2016)

Por otro lado, la estadística de consumo de gas natural, establece que México ocupa la décima posición con 59.79 MMtOe tan solo en 2013 (IEA, 2016), superando la producción anual, por ello, México necesita países que le vendan el insumo.

El gas natural cobra gran importancia para ramas de Metales Básicos como el hierro y el acero, ya que tuvieron un uso de 326.1 millones de pies cúbicos diarios (MMpcd) en 2014, lo que significa un 60% de uso de combustibles en toda la industria (SENER, 2014b). La siguiente imagen (3.4), ejemplifica la situación de México frente a las importaciones, donde se posiciona en un rango de importación de 0.01-25 MMtOe desde 1985 hasta 2013.

Comercio neto de gas natural (MMtOe)

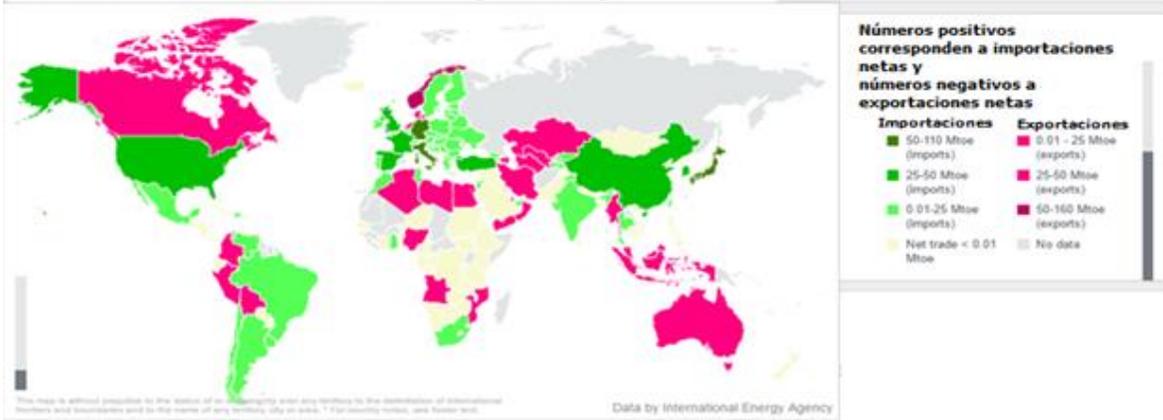


Ilustración 3.4 Comercio neto de gas natural 2013 (MMtOe). Traducción propia con datos de IEA (2016)

A partir de esto, se dice que México ha sido un importador desde hace décadas, sin embargo, el problema puede estar radicando en la variación de precios que sus proveedores establecen y en consecuencia un alza en el precio de productos nacionales donde para el caso del acero, se usa este combustible.

El carbón y principalmente el coque es otro elemento indispensable para la fabricación de acero. El líder en producción de carbón a nivel mundial es China

con una producción de 1.89 mil millones de toneladas de petróleo equivalentes (MMMtOe) en 2013, lo que equivale al 48% del total producido en el mundo, seguido de Estados Unidos, Indonesia y Australia donde se concentra el 80% de la producción total (IEA, 2016), mientras que México se ubica en el lugar veinte con 7.57 MMtOe como se refleja en la siguiente imagen (3.5).

Producción de carbón mundial 2013

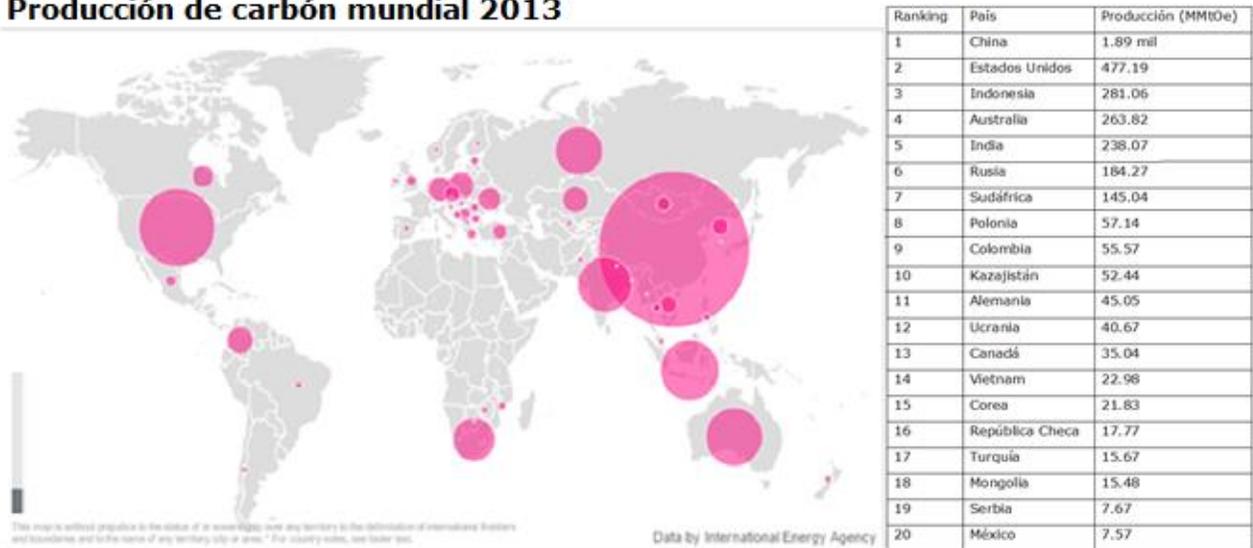


Ilustración 3.5 Producción de carbón mundial 2013. Resumen y traducción propia con datos de International Energy Agency (IEA, 2016)

Al igual que el gas natural, el carbón ha sido importado en cantidades que van de 2 hasta 50 MMtOe desde 2001 a 2013 para cubrir la demanda, como se muestra en la siguiente imagen (3.6).

Comercio neto de carbón (MMtOe)

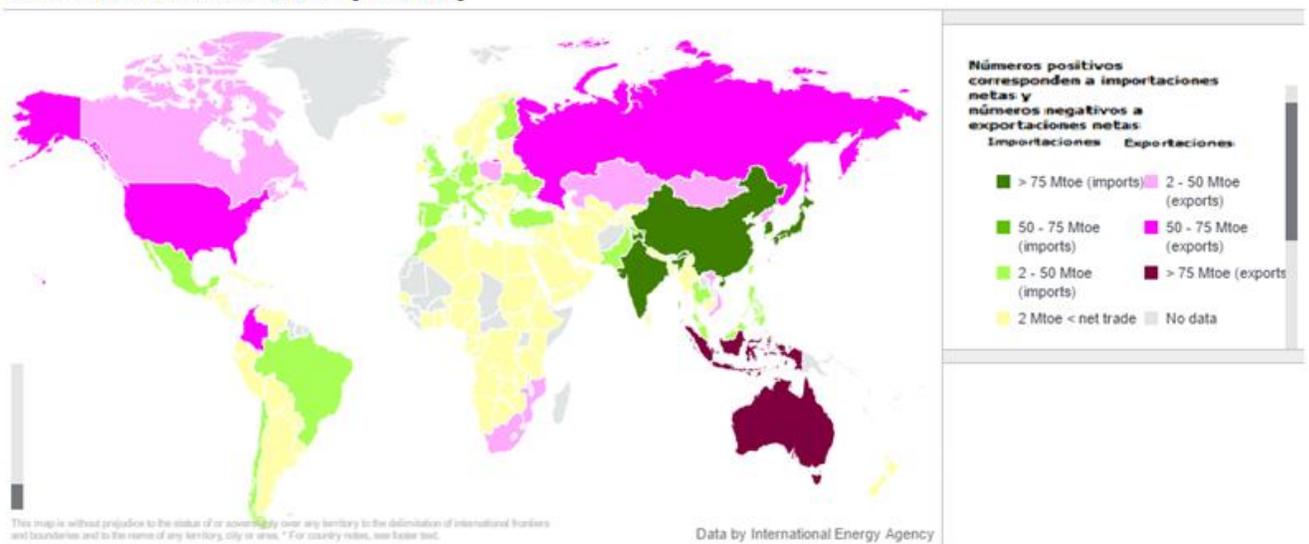


Ilustración 3.6 Comercio neto de carbón 2013 (MMtOe). Traducción propia con datos de IEA (2016)

La producción de carbón a partir de los elementos evaluados, refleja una decadente producción en México en comparación con los valores de China y la

disposición de este insumo en su territorio, además de las importaciones que cada país requiere para cubrir su demanda o buscar carbón de ciertas características. Por ejemplo, Estados Unidos es quien abastece principalmente el déficit de carbón en México.

El carbón es principalmente utilizado para la generación eléctrica con un abasto alrededor del 70% según datos de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) seguida de la industria del hierro y el acero con 7% (CFE, 2013), los cuales utilizan el carbón después de ciertos procesos, como combustible. Se estima que este, siga aumentando su consumo para la industria del acero, en una proyección generada por la SE de 2012-2030 donde la demanda de carbón coquizable promedio será de 0.9% anual.

El consumo eléctrico en la industria del acero es clave para conocer la situación del país en cuanto a ventajas competitivas asociadas con el método de producción, HAE.

La generación total de electricidad a nivel mundial, posicionó a México en el doceavo lugar en 2013. Para ilustrar esto, se tiene la imagen 3.7, donde nuevamente es potencia China.

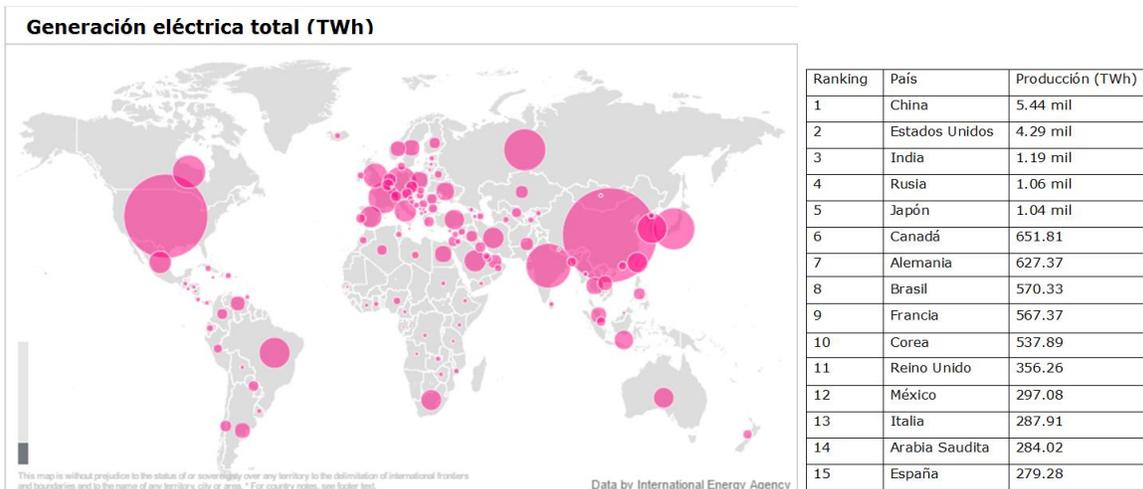


Ilustración 3.7 Generación eléctrica total (TWh) Resumen y traducción propia con datos de International Energy Agency (IEA, 2016)

En el capítulo 2 se evaluaron los datos publicados por la SENER en su BNE 2014, donde la industria del hierro y el acero es la que repunta en intensidad energética del sector industrial, y del total, el 9% de este gasto energético corresponde a electricidad. Tan solo para esta industria y específicamente para el método de producción por HAE, resulta ser un elemento de primera necesidad que garantiza su subsistencia y competencia en el mercado.

Después de conocer las materias primas de mayor importancia en cuanto a disponibilidad para la fabricación de acero, es indispensable conocer los costos asociados dependiendo del método de producción que se utiliza, con la finalidad de establecer los insumos claves que determina su precio y competitividad en el mercado.

Las siguientes tablas 3.3 y 3.4, desglosan de forma general los costos correspondientes a los procesos CBO y por HAE, donde este último es el que tiene un mayor costo de producción.

Cabe destacar que estas tablas fueron desarrolladas de forma genérica en enero del 2016, es decir que dentro de las especificaciones de la fuente se menciona que ninguna empresa utiliza estos datos verdaderamente, pero tienen una justificación real para datos de insumos como el hierro, carbón, chatarra, gas natural y electricidad, porque se tienen datos actualizados e históricos.

Para la producción por medio del CBO, las especificaciones concuerdan con una empresa integrada de productividad media, depreciación lineal y los costos están encaminados a generar una tonelada métrica de acero líquido de calidad comercial. De igual manera se contempló la importación del carbón mineral a precios internacionales con transporte de terceros y finalmente un costo de mano de obra fijo, del 25% (Steelonthenet.com, 2016).

Costo de producción por Convertidor básico al oxígeno 2016						
Concepto	Factor	Unidad	Costo unitario (US\$/unidad)	Fijo	Variable	Total
Hierro	1.559	Tonelada	51.63	0	80.49	80.49
Carbón	0.892	Tonelada	82.12	0	73.25	73.25
Chatarra ferrosa	0.15	Tonelada	160.65	0	24.10	24.10
Fundentes	0.536	Tonelada	37.5	0	20.10	20.10
Gases industriales	262	m ³	0.07	0	18.34	18.34
Electricidad	0.141	MWh	127	2.69	15.22	17.91
Mano de obra	0.518	horas	30.56	3.96	11.87	15.83
Otros costos	1	unidad	15.48	3.87	11.61	15.48
Transporte del hierro	1.559	Tonelada	5.8	0	9.04	9.04
Ferroaleantes	0.006	Tonelada	1383	0	8.30	8.30
Refractarios	0.011	Tonelada	685	0	7.54	7.54
Transporte del carbón	0.892	Tonelada	4.22	0	3.76	3.76
Transporte de chatarra ferrosa	0.15	Tonelada	5	0	0.75	0.75
Capital	1	unidad	53.63	53.63	0.00	53.63
Subproductos	1	unidad	-4.44	0	-4.44	-4.44
Energía térmica	-7.769	GJ	4.35	0	-33.80	-33.80
Total				64.15	246.13	310.28

Tabla 3.3 Costo de producción por Convertidor Básico al Oxígeno 2016. Elaboración y traducción propia con datos de Steelonthenet.com (2016)

De acuerdo con la tabla anterior (3.3) y los costos variables por insumo, se determina que, en mayor medida, el costo del acero por CBO (310.28 US\$/t), es determinado por el precio del hierro, el carbón (posteriormente transformado en coque) y la chatarra ferrosa. En estos tres insumos variables se ubica el 50%

del costo total del acero, además de llegar al 80 % del costo agregando fundentes, gases industriales (combustibles), electricidad y mano de obra.

Por otro lado, al establecer los costos para la producción por HAE de una tonelada de acero líquido de calidad comercial, la fuente Steelonthenet.com establece parámetros similares que se deben tomar en cuenta para la evaluación de los datos, la carga de chatarra es en un 100%, la productividad media, costos de amortización lineales durante la vida del activo a veinte años y finalmente un costo de mano de obra fijo del 25% (Steelonthenet.com, 2016).

Costo de producción por Horno de arco eléctrico 2016						
Concepto	Factor	Unidad	Costo unitario (US\$/unidad)	Fijo	Variable	Total
Chatarra ferrosa	1.113	Tonelada	160.65	0	178.80345	178.80
Electricidad	0.455	MWh	127	8.66	49.125	57.79
Electrodos	0.005	Tonelada	5790	0	28.95	28.95
Ferroaleantes	0.009	Tonelada	1383	0	12.447	12.45
Mano de obra	0.349	horas	30.56	2.67	7.99544	10.67
Otros costos	1	unidad	10.2	2.55	7.65	10.20
Refractarios	0.009	Tonelada	685	0	6.165	6.17
Transporte de chatarra ferrosa	1.113	Tonelada	5	0	5.565	5.57
Fundentes	0.031	Tonelada	118	0	3.658	3.66
Gases industriales	17	m ³	0.07	0	1.19	1.19
Pig iron/ DRI	0	Tonelada	174.99	0	0	0.00
Pig iron/ DRI transporte	0	Tonelada	14	0	0	0.00
Capital	1	unidad	17.77	17.77	0	17.77
Energía térmica	-0.396	GJ	4.35	0	-1.7226	-1.72
Total				31.65	299.83	331.48

Tabla 3.4 Costo de producción por horno de arco eléctrico 2016. Elaboración y traducción propia con datos de Steelonthenet.com (2016)

El costo del insumo de mayor impacto para producir acero por medio de HAE, es la chatarra ferrosa, cuya tonelada tiene el valor de 160.65 dólares, significando poco más de 50% del costo total por tonelada de acero líquido producido. Asimismo, el 80% implica la adición de gastos eléctricos y desgaste de los electrodos.

Mientras que, para producir acero por este medio, se requieren menos insumos, el precio que se le otorga a cada uno tiene mayores consecuencias en la economía de las empresas.

3.2 Impacto social

La importancia del acero en términos sociales resulta difícil de contabilizar debido a los escasos parámetros que se utilizan para determinar cuan benéfico o perjudicial puede ser un proceso o industria para la sociedad, pero a partir de ciertas estimaciones estudiadas en este capítulo, podemos conocerla.

El impacto social para este análisis, será definido por cantidad de viviendas que se construirán, el empleo que se genera por medio de esta industria y los efectos en materia de salud que afectan a las personas que laboran en plantas de generación de acero.

En el capítulo 1 se dio a conocer la importancia del acero, donde uno de sus principales consumidores es la industria de la construcción con 50% del consumo a nivel mundial (WSA, 2016), la cual genera beneficios en términos sociales por medio de la construcción de viviendas. Con ello, la edificación depende directamente de la producción de acero. En la tabla 3.5, se presenta la proyección de la Sociedad Hipotecaria Federal hasta 2030, donde el número de habitantes seguirá en aumento y de igual manera se verá reflejado en la cantidad de viviendas que estas personas requerirán, sin embargo, a medida que pasan los años, la tasa de crecimiento anual de viviendas va disminuyendo ligada con la misma tasa anual de habitantes, de manera proporcional.

Año	Viviendas			Habitantes		
	Viviendas Nacional	Crecimiento neto anual	Tasa de crecimiento anual %	Habitantes Nacional	Crecimiento neto anual	Tasa de crecimiento anual %
2011	29,855,885	616,434	2.10 %	115,682,868	1,427,312	1.20 %
2015	32,298,321	609,143	1.90 %	121,005,815	1,292,612	1.10%
2020	35,278,468	587,960	1.70 %	127,091,642	1,162,203	0.90 %
2025	38,150,620	564,890	1.50 %	132,584,053	1,054,585	0.80 %
2030	40,864,488	525,013	1.30 %	137,481,336	926,842	0.70 %

Tabla 3.5 Crecimiento de viviendas y población 2011-2030, Sociedad Hipotecaria Federal (SHF, 2015)

Con base en este efecto, se concluye que el crecimiento poblacional está ligado con la producción de acero, por medio de la construcción de las viviendas y nuevamente se reafirma la importancia de la construcción como indicador de desarrollo económico del país.

El segundo componente a evaluar corresponde al personal empleado en la industria del acero y sus características laborales conforme a la Encuesta Anual de la industria Manufacturera (EAIM) de la cual se obtuvieron los datos de mayor relevancia para este estudio en la siguiente tabla (3.6).

Características laborales de la industria básica del hierro y del acero					
Periodo	Personas por establecimiento	Promedio anual de personal ocupadas	Jornada de trabajo (horas)	Días trabajados (días al año)	Total de horas trabajadas (Miles de horas)
2010	821	21357	7.62	337	54876
2011	838	21798	7.63	331	55042
2012	887	23052	7.49	332	57303
2013p	902	23460	7.64	331	59324
2014	964	24106	7.84	325	61417
p, cifras preliminares					

Tabla 3.6 Características laborales de la industria básica del hierro y del acero. Elaboración propia con datos de INEGI (2016a)

Con relación a la tabla anterior, se observa un crecimiento en la incorporación de personal a esta industria desde 2010 hasta el dato más reciente en 2014, además de contar con jornada promedio que están dentro de la ley, ya que la mayor parte del trabajo de esta industria se lleva a cabo por las noches.

El último elemento presente en este análisis es el de seguridad y salud, el cual va ligado con el punto anterior pues se habla del ambiente donde se desarrollan las actividades productivas.

Socialmente este factor tiene impactos negativos de pequeña y gran escala, los cuales son clasificados de acuerdo al sector al que pertenece la empresa y el riesgo que tienen asociado respecto al cuerpo humano o la situación a la que se está sometido, la Organización Internacional del Trabajo (OIT) es la que se encarga de determinar, evaluar y establecer los riesgos laborales, así como recomendar mejores prácticas en materia de seguridad e higiene. El siguiente cuadro (3.1) resume los riesgos generales sobre los que tiene injerencia el trabajar en la industria del hierro y del acero.



Cuadro resumen 3.1 Seguridad de las operaciones de producción de hierro y acero. Elaboración propia con datos de OIT (2005)

Según datos de la misma organización en 2003, las cuatro enfermedades con mayores decesos en el mundo están asociadas con el cáncer (32%), enfermedades circulatorias (23%), accidentes de trabajo (19%) y enfermedades transmisibles relacionadas con el trabajo (17%) (OIT, 2003), las cuales pueden afectar al personal en la industria debido a los asbestos, radiaciones ionizantes, ambientes con gases tóxicos, ruido, químicos presentes en la manipulación de elementos, trabajo por turnos o la falta de equipo de protección durante el trabajo.

El factor social es muy importante ya que refleja el compromiso que las empresas tienen con la población y que tan importante es la empresa cuantificada en beneficios para la misma.

3.3 Impacto ambiental

La intensidad energética es la base para realizar una valoración del impacto ambiental ya que a partir de ella se puede conocer *la cantidad de energía consumida por actividad o producción entregada por sub-sector y uso final*. (IEA, 2015). Esta energía está relacionada con el **poder calorífico** asociado a cada combustible con base en los enlaces químicos que los componen y que actuarán posteriormente en la combustión, a su vez se refleja en la cantidad de contaminantes asociados a la industria por consumo energético.

El valor de intensidad energética puede variar dependiendo de diversos factores tales como la fuente que analiza los datos, el método utilizado para su cálculo, la estructura económica, la tecnología, el costo de los insumos, la disponibilidad, el comportamiento de la demanda, etc. CANACERO cuenta con algunos registros de eficiencia energética para el sector acero a nivel mundial, mismos que se muestran en la siguiente imagen (3.8).

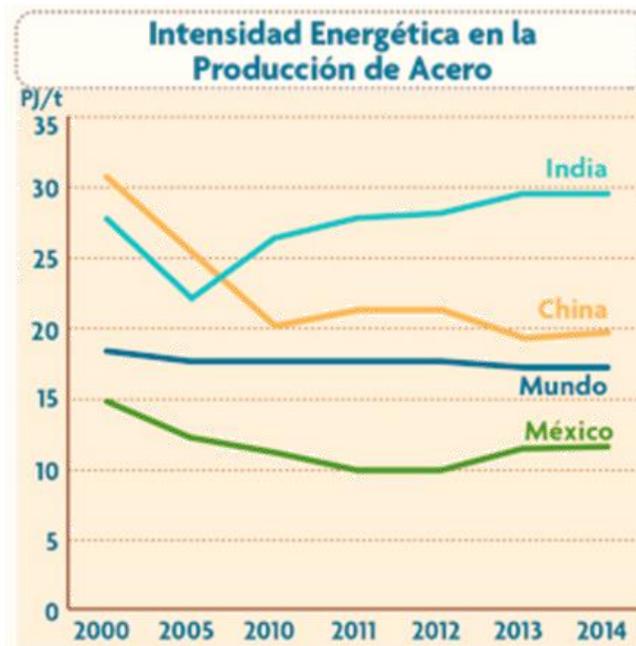


Ilustración 3.8 Intensidad energética en la producción de acero (PJ/t), CANACERO (2016b)

La imagen muestra que México se encuentra por debajo de la intensidad energética promedio del mundo con una variación aproximada entre 9 y 15 PJ/t de acero líquido, misma que reportó en 2011 como el consumo energético más bajo con 9.33 PJ/t, seguido del reportado en 2012 con 11.12 PJ/t (CANACERO, 2014b). Pese a que el consumo energético está por debajo del promedio, la industria básica del hierro y el acero en México es una de las mayores consumidoras de energía en el país.

El sector industrial es el segundo consumidor de energía en México según el BNE de la SENER en 2014. La rama industrial del hierro y del acero fue la de mayor intensidad energética con 212.47 PJ. En la siguiente tabla (3.7) se expone

la variación en el consumo de energía de esta industria desde 2012 hasta 2015, así como el consumo de los combustibles asociados a la producción de acero.

Año	2012	2013	2014	2015	2016
Industria básica del hierro y el acero (PJ)	208.1352	208.0774	212.2746	222.3441	N/D
Coque total (PJ)	66.80686	67.38958	69.58615	60.34986	N/D
Coque de carbón	64.33514	65.12601	68.69772	58.63684	N/D
Coque de petróleo	2.471719	2.263571	0.88843	1.713014	N/D
Total de petrolíferos (PJ)	5.399032	3.821118	2.937961	2.849617	N/D
Gas licuado	0.005774	0.006203	0.01	0.009246	N/D
Querosenos	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Diésel	0.882445	0.882611	1.097868	1.029298	N/D
Combustóleo	4.510813	2.932304	1.830093	1.811073	N/D
Gas seco (PJ)	112.5803	115.2849	119.896	139.923	N/D
Electricidad (PJ)	23.34899	21.58173	19.85453	19.22161	N/D
Nota:	La suma de los parciales puede no coincidir con los totales debido al redondeo de las cifras.				
	Los datos del año 2015 son preliminares y están sujetos a cambios sin previo aviso.				

Tabla 3.7 Consumo de energía en el sector industrial (PJ), Industria básica del hierro y el acero, SENER (2016)

Según la tabla anterior, el consumo energético ha ido en aumento, donde el gas seco (gas natural) es el principal insumo utilizado e incluso es determinante en la valoración de este dato.

En términos más específicos, la intensidad se puede medir de acuerdo al proceso que se esté analizando. Janjua (2014) a través de WSA establece la generación de acero por CBO y HAE evaluados en GJ/t de acero crudo producido, como se refleja en la imagen 3.9, se ha determinado que el horno de arco eléctrico tiene un consumo energético menor respecto al CBO, sin embargo, se debe recordar que esto es válido en una carga ideal de 100% chatarra. Esta misma ilustración toma en cuenta la eficiencia energética que se puede establecer respecto a los valores de referencia o el mejor valor de intensidad energética.

Intensidad energética y ahorro energético por tipo de producción

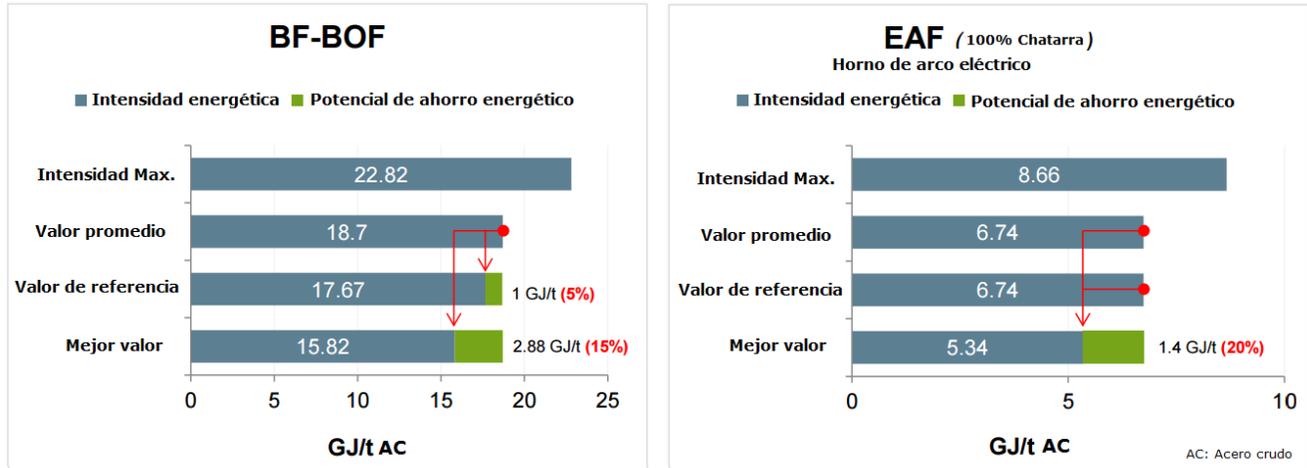


Ilustración 3.9 Intensidad energética y ahorro energético por tipo de producción. Modificación y traducción propia de Janjua (2014)

El consumo energético asociado con el horno de arco eléctrico funciona como una opción viable para reducir la demanda energética, encaminada de igual manera a reducir emisiones de gases de efecto invernadero.

Con base en la intensidad energética se puede determinar la aportación de emisiones contaminantes de la industria por compuesto y posteriormente en términos de CO₂eq (**dióxido de carbono equivalente**).

Respecto a las emisiones, la industria básica del hierro y el acero está catalogada como una **fuentes** estacionaria o fija de combustión de alta intensidad energética que libera gases de efecto invernadero y precursores del mismo.

Como se había mencionado en capítulos anteriores, los gases considerados de efecto invernadero son CO₂, CH₄, N₂O, entre otros (INECC-PNUD, 2012). A partir de esta información, entre las **partículas primarias** asociadas con la industria del acero se ubica principalmente al CO₂, seguido del CH₄ y finalmente en N₂O, así como otras **partículas secundarias** precursoras del efecto invernadero.

La industria del acero en México, en comparación con otras industrias de la misma rama a nivel mundial y según datos de CANACERO, está por debajo del promedio en emisiones de efecto invernadero y esto se ve reflejado en la siguiente ilustración (3.10), cuya aportación en emisiones de CO₂ se ubica entre 1.3 y 1.38 tCO₂/t de acero líquido.

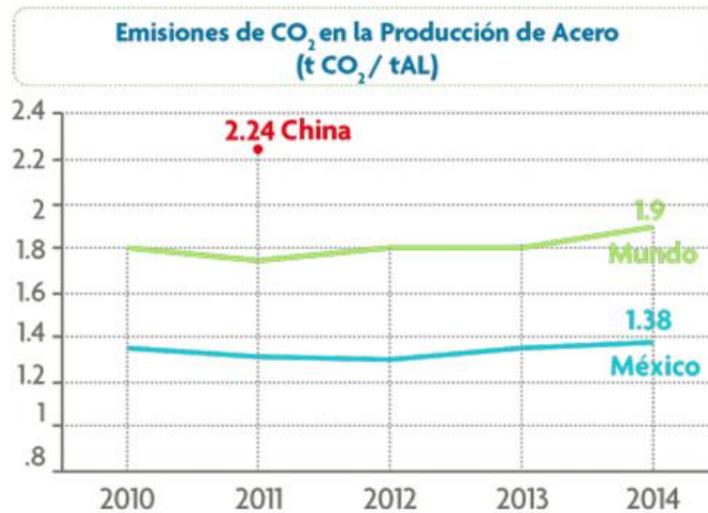
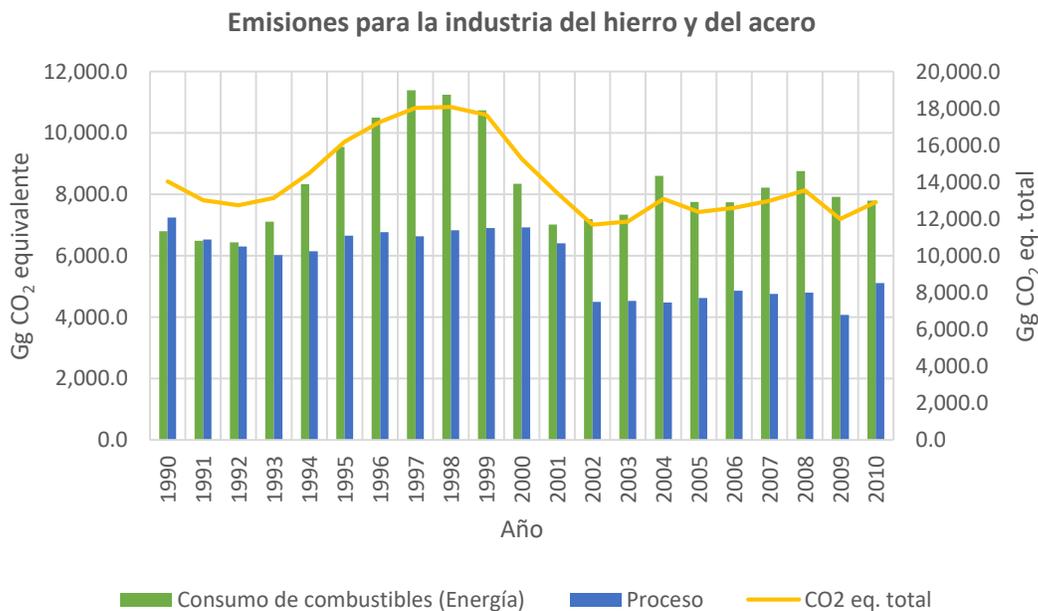


Ilustración 3.10 Emisiones de CO₂ en la producción de acero (tCO₂/t acero líquido (AL)), CANACERO (2016a)

Las emisiones de efecto invernadero vinculadas a la producción de acero, según el BNE se pueden dividir en dos sistemas de cálculo, el primero corresponde a las emisiones originadas por la utilización de combustibles (combustión), mientras que el segundo es producto del proceso que se lleva a cabo en las fábricas. Las emisiones por quema de combustibles fósiles son la principal fuente de emisión de gases de efecto invernadero a la atmosfera, la gráfica 3.2 muestra la diferencia entre el CO₂eq por combustión y el CO₂eq relacionado con el proceso, cabe mencionar que el BNE prevé el cálculo de **emisiones fugitivas**, pero, para este análisis no son tomadas en cuenta debido a que no está especificada su contabilización dentro del proceso.



Gráfica 3.2 Emisiones para la industria del hierro y del acero. Elaboración propia con datos de INECC (2012)

La combustión genera gases de efecto invernadero, estimados en términos de CO₂eq, las emisiones del proceso han tenido una baja desde el primer registro de esta fuente en 1990. La suma de estas fuentes donde se incluyen de igual manera gases como el metano y el óxido de nitrógeno, está representada por la línea cuya variación se encuentra entre 11,000 y 19,000 Gg de CO₂eq.

Si se toma 2010 como el dato más reciente del estudio de energía por sector, el INECC da a conocer que la industria del hierro y el acero contribuyó con el 54.7% de las emisiones de CO₂ dentro del sector industrial (INECC-PNUD, 2012), específicamente el CO₂eq por combustión fue de 7,779.1 Gg, por proceso genero 5,111 Gg de CO₂eq, se produjeron 15.5 Gg de CO₂eq de N₂O y 3.2 Gg de CO₂eq de CH₄ (INECC, 2012), en consecuencia, el valor que tiene la quema de combustibles fósiles impactó en aproximadamente 60% de las emisiones de CO₂eq, seguido del proceso y finalmente con N₂O y CH₄ despreciable, el cual no alcanza ni el 1%.

Para contabilizar las emisiones relacionadas con el CO₂ es necesario conocer el contenido de carbono (masa atómica de carbono respecto al total) de los combustibles y el poder calorífico asociado a la quema de los mismos, expresado en términos de contenido de carbono por unidad energética, para ejemplificar este cambio en unidades energéticas que posteriormente genera los factores de emisión, está la tabla 3.8 y para mayor información respecto a factores de emisión, ir al apéndice, apartado 3.

Factores de emisión por combustible para la industria del hierro y del acero							Factores de emisión				
Tipo de combustible	Comb.	Densidad Líquido (kg/litro)	Densidad gas (kg/m ³)	Contenido de carbono (% Peso)	PCN (MJ/kg)	Contenido de carbono (kg C/GJ)	kgCO ₂ /TJ	kg CO ₂ / TJ (Promedio IPCC, 2006)	kgCO ₂ / kg comb.	kgCO ₂ / l comb.	kgCO ₂ / m ³ comb
Refinación de petróleo	Diésel	0.826	-	85.8	43.18	19.9	72,850.77	74,100	3.145	2.596	-
	Combustóleo	0.999	-	84.6	39.03	21.7	79,450.29	77,400	3.1	3.097	-
	Coque de petróleo	-	-	72.1	33.46	21.6	78,991.12	97,500	2.64	-	-
Cadena de producción de carbón	Coque de carbón	-	-	75.7	25.32	29.9	109,598.01	107,000	2.774	-	-
Gaseosos	Gas natural	-	0.844	71.2	46.74	15.8	57,755.93	56,100	2.69	-	2.27
	Gas LP	0.525	1.96	82	46.16	17.8	65,082.90	63,100	3	1.58	-

Tabla 3.8 Factores de emisión por combustible para la industria del hierro y del acero (IMP, 2014b)

PEMEX con base en un muestreo de los combustibles que produce en diferentes entidades del país realizó un estudio de donde parte la tabla anterior, para efectos de este documento se tomaron los valores promedio calculados para cada combustible. Lo importante de esta información es conocer la relación que tiene el contenido de carbón, el poder calorífico neto (PCN) y la unidad de dióxido de carbono por tonelada de energía entregada (kg/TJ).

El PCN entregado por el gas natural es más eficiente respecto a los otros combustibles, su contenido de carbón por unidad de energía es el menor y por ende las emisiones de CO₂ que parten de la energía utilizada son menores. El gas natural resulta ser un combustible con reducidas emisiones de gases al

ambiente, respecto a los demás combustibles, México utiliza este recurso de forma permanente para la industria del hierro y del acero, debido a que su principal forma de producción es el horno de arco eléctrico.

Si se compara la otra forma de producción (COB), cuya aportación calorífica se da en mayor medida por el coque de carbón se puede observar que su eficiencia es reducida en comparación con otros combustibles y además genera una alta concentración de emisiones al utilizarlo.

La valoración de los diversos combustibles ayuda a conocer el impacto por unidad energética, este elemento puede no ser decisivo para conocer cuál es el mejor combustible, sin embargo, es un indicador de valor comparado con el método de producción para la industria acerera, cuyo uso se inclina por ciertos combustibles.

El método de producción utilizado para producir acero, también tiene un rol importante en la generación de emisiones, ya que dentro del proceso se pueden tener actividades en las que se genere mayor emisión como se observa en la tabla 3.9.

	CBO	HAE
Combustible principal	Coque de carbón (Carbón queda entre 0.6% y 6.6% sin quemar). Factor de oxidación= 98%	Gas natural (Menos de 1% queda sin quemar). Factor de oxidación=99.5%
Proceso con mayor emisión	Soplado de oxígeno y fundición	Fundición y afino
CO₂	Quema de combustibles fósiles, soplado de oxígeno	Quema de combustibles fósiles, consumo de electrodos de carbono
CH₄	Combustión ineficiente	Combustión ineficiente
N₂O	Disminución de temperatura	Disminución de temperatura
CO	Combustión ineficiente y fundición	Combustión ineficiente y fundición
COVDM	Combustión ineficiente	Combustión ineficiente
Restos sólidos	Humo negro y hollín	Hollín que permanece en la instalación o es arrojado al ambiente
Otros contaminantes	SO _x , Óxido de hierro, metales pesados (Hg, Cr, Pb, Ni, Zn, Cd, Cu, As) fluoruros y partículas PM ₁₀ y benceno	SO _x , NO _x , Óxido de hierro, metales pesados (Hg, Cr, Pb, Ni, Zn, Cd, Cu, As), partículas PM ₁₀ y benceno

Tabla 3.9 Diferencia de emisiones por proceso de fabricación de acero. Elaboración propia con datos de GCE (2012), INECC-PNUD (2012) y DMAOTGV (2007).

La tabla anterior muestra algunos contaminantes asociados al proceso que tienen que ver con la calidad del hierro, la chatarra para la fabricación de nuevo acero y la utilización de combustibles sólidos. Algunos de estos gases son precursores del ozono como gas de efecto invernadero en la atmosfera y respecto al dióxido de carbono, metano y óxido de nitrógeno parecen ser despreciables o fugitivos. Principalmente la fundición del acero y la interacción de la aleación con gases industriales (N₂ y O₂) generan mayor cantidad de emisiones de CO₂, debido a las reacciones químicas asociados al proceso.

Las acciones que la industria del acero está tomando, tienen que ver con la reducción del consumo energético, manifestadas en la mejora de la eficiencia de las plantas y una mayor utilización del horno de arco eléctrico por su baja intensidad energética respecto a otros procesos. Poco a poco la industria ha ido migrando a métodos más eficientes que impacten en una representativa disminución en la intensidad, por ejemplo, en 2008 a nivel mundial se produjo acero por HAE en un 38%, mientras que en 1990 solo se producía el 28% por este mismo método (World Energy Council (WEC), 2010).

Como se pudo observar durante el capítulo, la industria del acero depende de factores de gran alcance como lo son la economía mundial y de México, la sociedad y su desarrollo y el impacto ambiental. El acero como mercancía de importancia económica puede determinar el rumbo de la industria, ya que a partir de ella se crea un eje, donde tanto productores de hierro como consumidores para el desarrollo social, se ven inmersos en el crecimiento de esta industria de forma global. México debe reconocer su potencial, recursos y estrategias, en caso de buscar un desarrollo a favor de la industria del hierro y del acero que permitan competir en una rama industrial dominada por una superpotencia como China.

Por el lado social, el acero es la base de grandes edificaciones y refugios que benefician a la humanidad, aunque también los efectos contra la salud son diversos para el personal que labora en las plantas acereras, como se analizó, pueden existir tanto accidentes, como enfermedades a largo plazo, producto del trabajo con acero. En este ámbito existen grandes beneficios materiales a un costo humano, por lo que las industrias deben ver por el personal de forma permanente.

Finalmente, como se estudió, los esfuerzos respecto al impacto ambiental en la fabricación de acero en México han generado una disminución de gases de efecto invernadero en el proceso, pero no es suficiente, si la quema de combustibles es el elemento con mayores emisiones.

La reducción en el impacto ambiental tiene que ver con una clara disminución en la intensidad energética donde aún queda mucho por hacer en materia de quema de combustibles fósiles. La sustitución tecnológica y el cambio de combustibles de menor impacto, es clave en la disminución de emisiones de efecto invernadero en la industria del acero, sin embargo, para lograr estas adecuaciones, México ha elegido ciertas medidas financieras para favorecer este cambio. En el capítulo final se darán a conocer las posibles alternativas que se tienen para disminuir las emisiones por medio de la intensidad energética y qué medidas se han tomado para contrarrestar este efecto.

Capítulo 4. Marco regulatorio fiscal

Este capítulo se centrará en la importancia de los impuestos ambientales y de qué forma trascienden económicamente en industrias como la del acero, pues como se analizó en las secciones anteriores, esta industria requiere de importantes cantidades de la energía contenida en los combustibles fósiles para su producción.

4.1 Impuestos ambientales

En el mundo se han establecido acuerdos mediante los cuales los países se comprometen a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a través de la firma de un documento oficial, donde se plantean las condiciones de los países actualmente y se generan propuestas en forma de compromisos de mitigación de emisiones, ejemplos de estos acuerdos es el Protocolo de Kioto y la firma del acuerdo de reducción de emisiones de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), mismos que obligan a los países a disminuir sus niveles de dióxido de carbono para mejorar el medio ambiente y combatir el fenómeno del cambio climático, mientras que al mismo tiempo se generan incentivos en forma de bonos de carbono para aquellas empresas que disminuyan sus niveles de CO₂ respecto a los establecidos por el protocolo (Muñoz, 2013).

Por otro lado, como se planteó en la Ley General de Cambio Climático, México tiene el compromiso de reducir las emisiones de efecto invernadero para el año 2020 como fecha límite (Callejas, 2013). En general, la reducción de estas emisiones tiene que ver con la disminución de la intensidad energética de las economías de los países y una mayor eficiencia en el uso de la energía en los sectores productivos de un país; para este análisis se tomará en cuenta la rama manufacturera y específicamente, la industria del acero.

Como se estudió en capítulos anteriores la industria del acero tienen una importante intensidad energética, de las más altas en México, ligada a la emisión de gases de efecto invernadero de forma proporcional. De esta manera, la búsqueda de las industrias por generar una disminución en el impacto ambiental y económico, significa una modificación respecto a sus emisiones de gases de efecto invernadero, traducidos en CO₂eq y a su vez en la reducción de la intensidad energética.

El impacto generado por la contaminación o generación de emisiones de origen **antropogénico** tiene costos calculables respecto al PIB, la ilustración 4.1 generada por el INEGI muestra cifras preliminares de 2014 e ilustra la situación en México.

Costos totales por agotamiento y degradación, 2014^P
(Porcentaje)

		Agotamiento	Degradación
PIB	17,209,663		
Hidrocarburos	105,475	0.6	
Recursos forestales	14,777	0.1	
Agua subterránea	30,220	0.2	
Contaminación del aire	542,283		3.2
Contaminación del agua	74,322		0.4
Residuos sólidos	57,340		0.3
Suelo	86,488		0.5

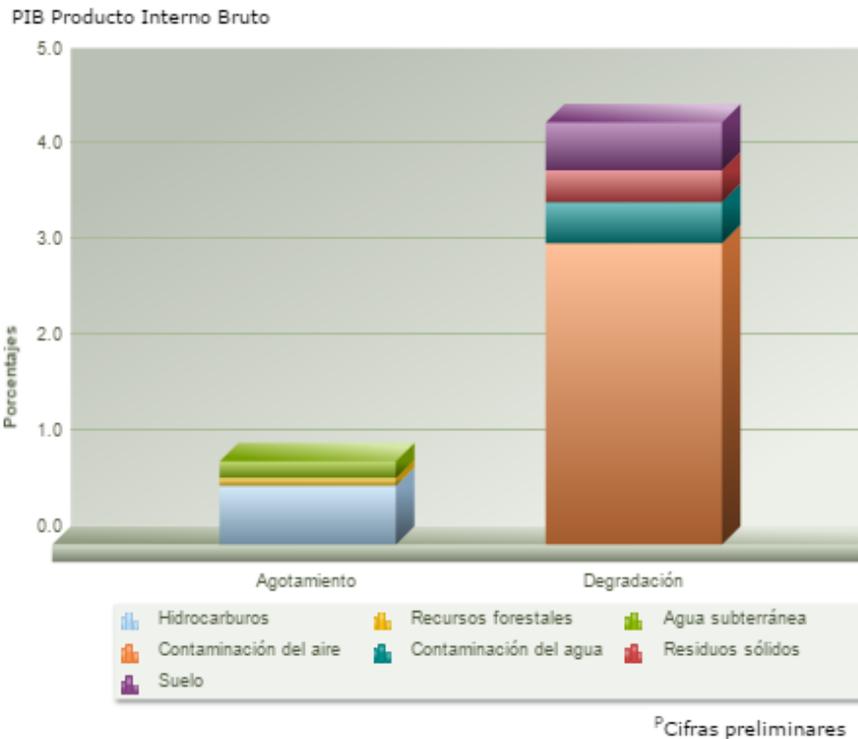


Ilustración 4.1 Costos totales por agotamiento y degradación, INEGI (2016b)

Respecto a la información obtenida en la tabla y la gráfica anterior, se dice que los costos por contaminación ambiental son equivalentes a un 5.3% del PIB total generado en 2014, es decir que esta cantidad debería cubrir los costos por agotamiento y degradación en temas ambientales. La contaminación atmosférica fue la que generó mayor costo, con 59.5% del total y 71.3% en costos ambientales por degradación para 2014. Específicamente para este estudio, las emisiones producto de fuentes fijas entre 2007 y 2011 representaron el 8% contra las fuentes móviles y de área con un 92% (INEGI, 2013b), estas emisiones son producto de la quema de combustibles e intensidad energética, en industrias como el cemento y la industria básica del hierro y del acero.

Estas cifras demuestran que existe un costo vinculado con la contaminación ambiental y a su vez se deben tomar medidas de mitigación para limitar el daño provocado sobre el entorno.

Respecto a este tema, INEGI dio a conocer el registro desde 2003 hasta 2014 de costos totales de agotamiento y degradación, costos por mitigación de emisiones a la atmosfera y la inversión que el gobierno destina para la protección ambiental, donde cabe destacar que la atención en temas medioambientales en México no está cubierta totalmente, debido a que se destina muy poco presupuesto para la atención oportuna de los mismos, como se observa en la tabla 4.1.

Año	PIB a precios de mercado (MMdp)	Costos totales por agotamiento y degradación ambiental(CTADA) (MMdp)	Costo por mitigación atmosférica (CMA) (MMdp)	Gastos en protección ambiental (GPA) (MMdp)	CTADA /PIB (%)	CMA/PIB (%)	GPA/PIB (%)	GPA/C TADA (%)	GPA/CMA (%)	Déficit entre (CTADA y GPA) (%)
2003	7,696,035	648,418	434,222	44,807	8.4	5.6	0.6	6.9	10.3	93.1
2004	8,690,254	700,213	448,256	50,177	8.1	5.2	0.6	7.2	11.2	92.8
2005	9,424,602	753,166	459,564	57,009	8	4.9	0.6	7.6	12.4	92.4
2006	10,520,793	794,513	465,955	64,796	7.6	4.4	0.6	8.2	13.9	91.8
2007	11,399,472	852,445	477,756	80,256	7.5	4.2	0.7	9.4	16.8	90.6
2008	12,256,864	916,780	467,156	97,066	7.5	3.8	0.8	10.6	20.8	89.4
2009	12,072,542	836,143	498,208	121,004	6.9	4.1	1.1	14.5	24.3	85.5
2010	13,266,858	884,826	503,139	126,176	6.7	3.8	1	14.3	25.1	85.7
2011	14,527,337	942,829	511,802	145,941	6.5	3.5	1	15.5	28.5	84.5
2012	15,599,271	1,003,015	546,744	146,936	6.4	3.5	1	14.6	26.9	85.4
2013	16,077,059	929,430	548,595	143,291	5.8	3.4	0.9	15.4	26.1	84.6
2014	17,209,663	910,906	542,283	147,666	5.3	3.2	0.9	16.2	27.2	83.8

Tabla 4.1 Principales datos e indicadores respecto al ambiente 2003-2014. Elaboración propia con datos de INEGI (2016b)

En primer lugar, se observa de la tabla anterior que los costos por agotamiento y degradación ambiental han ido aumentando a razón del crecimiento del PIB, lo que demuestra que la contaminación esta acoplada a la producción y desarrollo económico del país, de igual manera, los costos relacionados con la mitigación, requieren de una mayor inversión, al igual que el valor ligado a la protección ambiental, sin embargo al relacionar estos conceptos en forma de indicadores, demuestra una realidad muy diferente.

El indicador de CTADA/PIB disminuye debido a dos situaciones que se pueden plantear, que hayan bajado los costos relacionados con el agotamiento y degradación ambiental (la contaminación disminuya) o un aumento en el PIB total conectado al crecimiento de algunas ramas. Si se compara lo anterior descrito con el CTADA, se demuestra que han aumentado los costos por contaminación ambiental.

Después, el indicador CMA/PIB demuestra que los costos relacionados con la contaminación atmosférica han disminuido respecto al PIB total, por otro lado, el GPA/PIB ha sufrido variaciones durante el periodo registrado entre 2003-2014, lo que podría reflejar que no se tiene un porcentaje del PIB específico para

tratar temas a favor del medio ambiente, los cuales están variando entre 0.6% y 1.1% de los ingresos anuales del PIB.

El dato de mayor relevancia tiene que ver con el indicador GPA/CTADA que mide cuanto del costo total por agotamiento y degradación se están cubriendo por medio de la protección al ambiente, en la tabla se muestra que este valor en porcentaje no alcanza a compensar ni una cuarta parte del daño generado al ambiente a lo largo de los años, ni siquiera en el año de mayor aportación, en 2014 donde solo represento el 16.2%. La siguiente columna GPA/CMA, es una estimación sobre cuánto del costo por mitigación atmosférica se podría cubrir con el escaso presupuesto destinado a protección ambiental, para el caso del 2014, el costo en protección ambiental solamente pudo haber cubierto el 27.2% de los costos totales para mitigación de emisiones que contaminan el aire.

Finalmente, se calcula el déficit que se tiene entre el daño generado al ambiente, CTADA y la disposición de recursos económicos que lo protegen, GPA, donde lo más relevante es que está por encima del 80% pues únicamente se ha disminuido este valor en un 9.84% entre 2003 y 2014, demostrando que aún queda mucho por hacer en temidos ambientales y específicamente atmosféricos, pues el daño al entorno es muy superior a la inversión que destina el gobierno.

Por otro lado, la disminución en las emisiones de efecto invernadero que provocan degradación atmosférica y un costo ligado a ello, están relacionadas con la reducción de la intensidad energética en las industrias. Es por ello que para generar un cambio que impacte en la intensidad energética industrial, esencialmente en la industria del acero, se tienen dos alternativas (Economics for energy (EFE), 2010):

1. Una reducción en la demanda de las actividades consumidoras de energía
2. Aumentar la eficiencia en el uso de energía

La primera corresponde a establecer un límite en el requerimiento energético por parte de las industrias, basado en mejoras en el proceso y cambios en la tecnología utilizada para la producción. Esto puede traer consigo una disminución de los costos de operación para la rama, pero también tiene implicaciones con la competitividad del sector debido a los costos de implementación.

Mientras que la segunda busca establecer medidas de ahorro energético y de productividad en las industrias con la finalidad de generar mayor producción con la menor cantidad de energía, impactando de igual manera en las emisiones de efecto invernadero. La tendencia de las industrias acereras en el mundo, busca una eficiencia energética, que no afecte su volumen de producción, con el menor impacto ambiental posible y sin establecer un gasto significativo. Sin embargo, las decisiones que marcan la disminución en la intensidad energética y las emisiones de efecto invernadero requieren de inversiones importantes que deben ser analizadas a profundidad.

Las alternativas más importantes para este estudio, que pueden provocar un cambio en la intensidad energética según EFE (2010) son:

Cambios estructurales

- La industria se inclina para apoyar a ramas con menor intensidad energética y mayor valor añadido.
- La energía que se deja de consumir en una industria puede perjudicar a otra (electricidad).

Cambios tecnológicos

- Pueden reducir la cantidad de materiales necesarios para producir un mismo bien, así como procesos con menores impactos ambientales, siempre y cuando la demanda del producto no supere las mejoras en eficiencia.

Sustitución de combustibles

- Puede generar más valor económico por su calidad energética.
- Puede modificar su diferente nivel de eficiencia con base en los combustibles y sus propiedades.

Precios y regulación

- Un alza en los precios (por el mercado o por un cambio en la regulación), puede promover el ahorro energético mediante la contracción del consumo, generando la sustitución de insumos y avances tecnológicos hacia procesos menos intensivos.
- Impuestos a la energía, combustibles y a emisiones de carbono.

Preferencias del consumidor

- Una vez que se alcanza un determinado nivel de ingresos, la elección entre bienes y servicios y sus requerimientos energéticos o calidad ambiental cambia, de forma que se puede decidir consumir más calidad ambiental, aunque sea a costa de consumir menos de otros bienes y servicios.
- A medida que un país crece económicamente es probable que el aumento en ingresos haga disminuir la contaminación.

Otros factores

- El grado de dependencia energética o la disponibilidad de recursos (consumos elevados en países productores de petróleo)

Tabla 4.2 Factores que afectan la intensidad energética en los países. Elaboración y redacción propia con datos de EFE (2010)

Para el caso de México, la medida aplicada para recaudar impuestos al tiempo que se incentiva al sector industrial para reducir emisiones, fue establecer precios y regulaciones (impuestos) para los combustibles desde 2014, las cuales incrementan su costo en cierta cantidad adicional respecto de su costo original, debido al contenido de carbón presente en ellos.

A este tipo de impuestos que buscan generar un cambio en materia ambiental para favorecer el entorno o evitar mayor contaminación y degradación, al mismo tiempo que generan una recaudación monetaria para la nación, se les conoce como impuestos ambientales o impuestos verdes.

Los impuestos ambientales son instrumentos económicos que modifican los precios relativos de los bienes y servicios que se observan en el mercado (INE, 2002), estos pueden ser tanto directos (se incorpora al costo) como indirectos (se transfieren) y funcionan como instrumentos de protección y fomento ambiental. La OCDE en cuanto al diseño de impuestos de este tipo precisa que *estos deben recaer en los contaminantes o en las acciones dañinas al medio ambiente; su cobertura debe ser tan amplia como lo es el contaminante en sí y debe tener la magnitud del daño que causa, a fin de acarrear mejoras en el entorno.* (Fernández, 2014).

Los impuestos ambientales tienen estas funciones básicas (Callejas, 2013):

- Recaudatoria: esencialmente como fuente de ingresos para el Estado a partir de acciones negativas contra el ambiente
- De Comparación: los ingresos percibidos por empresas o individuos y los costos ambientales de su ejercicio económico
- Instrumento de políticas fiscales: favorecen, desincentivan o protegen algún sector objetivo
- Favorecer el cambio de tecnología: uso de energías de bajo impacto ambiental y promover la eficiencia energética
- Bajar emisiones en el futuro: tener como perspectiva una economía de bajas emisiones de carbono, modificando practicas productivas y de consumo en materia energética

De esta manera el impuesto ambiental establecido específicamente a los combustibles fósiles de acuerdo a su contenido de carbono y por ende a su intensidad energética, busca la integración de combustibles con menor impacto ambiental y como objetivo final la migración a nuevas tecnologías (cambios en el proceso productivo) más limpias en un mediano y largo plazo (Fernández, 2014).

Para efectos de este estudio, la industria del hierro y del acero es parte importante de los sectores de mayor generación de gases de efecto invernadero, debidos a la quema combustibles fósiles para la producción y por ello es susceptible de pagar dicho impuesto conocido como IEPS (Impuesto Especial sobre Producción y Servicios).

Este impuesto desde su implantación ha traído ingresos importantes para México, quien antes era un país con escaza recaudación en estos temas. Para ilustrar esta variación esta la imagen 4.2.

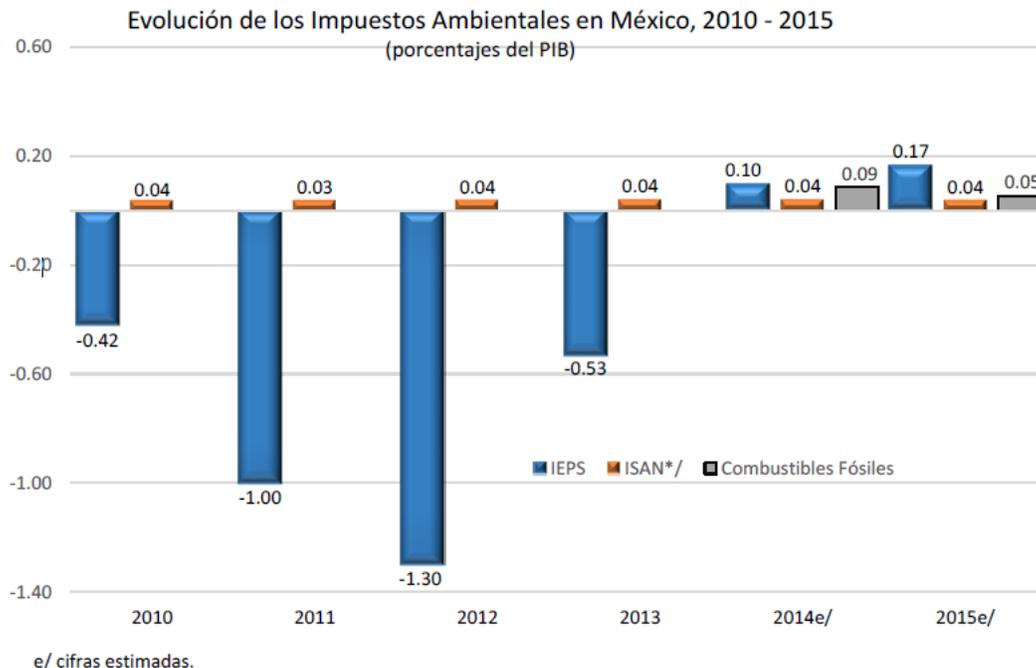


Ilustración 4.2 Evolución de los Impuestos Ambientales en México, 2010 - 2015. Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (CEFP, 2015)

La elección de un incremento al precio de los combustibles como primera instancia puede tener su justificación en los siguientes ejemplos, los cuales están asociados directamente a la intensidad energética que significa un menor impacto ambiental; *en el caso de EEUU, una cuarta parte de la mejora de eficiencia energética se produjo por el efecto de los precios altos, mientras que otra cuarta parte de la reducción fue motivada por la regulación del Gobierno sobre etiquetado energético* (EFE, 2010) y de acuerdo al Eurostat, *en el año 2012, se recaudaron €5,909 millones en impuestos ambientales, del cual el 40% se cobró a combustibles; en 2012, el impuesto contribuyó con el 6.5% de los ingresos tributarios de Finlandia*. El impuesto para 2015 fue de €18.05 por tonelada métrica de CO₂ (CEFP, 2015).

Para el caso de Estados Unidos, gracias al alza en los precios de los combustibles fósiles se generó el cambio de tecnologías, este hecho fue posible, pues además de los impuestos, se creó un incentivo en materia de tecnología ambiental soportado por los mismos previamente cobrados (EFE, 2010).

Mientras que en Finlandia se ha convertido en una opción ejemplar para recaudar impuestos que ha tenido buenos resultados monetariamente hablando y también favoreciendo al medio ambiente.

Para ambas situaciones existe un común denominador, que es el cobro de algún incentivo fiscal en respuesta a la contaminación atmosférica, sin embargo, a diferencia de México, esta recaudación monetaria es utilizada para incentivar y buscar medidas para la conservación y protección del ambiente.

4.2 Impuesto Especial sobre Producción y Servicios

En México, el IEPS y específicamente el impuesto a los combustibles fósiles fue una modificación elaborada al impuesto desde 2014, artículo 2, fracción I, inciso H, que según la Ley de Ingresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal de 2012 (LIFEFE) tiene como objetivo *desincentivar conductas que afectan negativamente al medio ambiente* (LIFEFE, 2012) y que concierne a la industria del acero, tanto por la generación de emisiones de efecto invernadero, como por la economía.

Existe una gran controversia por el precio agregado a los combustibles, sin embargo, el poder ejecutivo al realizar esta propuesta argumentó una mejora en la calidad atmosférica, reducir costos en salud al disminuir las enfermedades respiratorias y generar un mejor aprovechamiento de recursos, la inversión de estos costos adicionales en materia industrial está encaminados a mejorar la eficiencia energética y la integración de tecnologías verdes, entre otras. Básicamente, con este impuesto, el gobierno establece el precio del carbón que varía año con año, dependiendo del Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) por lo que las fuentes generadoras de emisiones establecerán la cantidad de energía traducida en combustibles que requerirán y las emisiones que estas traerán.

La base que se estableció para este impuesto parte un estudio realizado por el Centro Mario Molina, quien creó un índice al evaluar los mercados internacionales *Europeos, de Nueva Zelanda y de California* entre octubre del 2012 y junio de 2013, generándose así el precio promedio de 5.70 dólares americanos por tonelada carbono. A su vez, se tomaron como referencia los factores de emisión del IPCC de la ONU (LIFEFE, 2013), también citada en el capítulo 3 y el apéndice, apartado 3 de este documento. Inicialmente, esta propuesta del impuesto a combustibles fósiles por el ejecutivo tenía la siguiente estructura:

Tipo de combustible	Toneladas de CO ₂ por unidad de volumen	Unidad de volumen	Impuesto por unidad de volumen	Unidad de medida para el impuesto
Gas Natural	16.893	Mil metros ³	11.94	Centavos por millar de metro ³
Propano	1.485	10 ³ litros	10.50	Centavos por litro
Butano	1.820	10 ³ litros	12.86	Centavos por litro
Gasolinas y gasavión	2.294	10 ³ litros	16.21	Centavos por litro
Turbosina y otros kerosenos	2.647	10 ³ litros	18.71	Centavos por litro
Diesel	2.712	10 ³ litros	19.17	Centavos por litro
Combustóleo	2.935	10 ³ litros	20.74	Centavos por litro
Coque de petróleo	2.686	10 ³ kilogramos	189.85	Pesos por tonelada
Coque de carbón	2.730	10 ³ kilogramos	192.96	Pesos por tonelada
Carbón mineral	2.523	10 ³ kilogramos	178.33	Pesos por tonelada
Tonelada de CO ₂	1.000	Tonelada	70.68	Pesos por tonelada

Tabla 4.3 Propuesta de impuesto a combustibles fósiles por el poder ejecutivo, LIFEFE (2013)

Como se puede observar en la tabla anterior, se toman en cuenta las emisiones de CO₂ ligadas a cada combustible por unidad de volumen y a cada uno se le asigna un impuesto, es decir que se está tomando en cuenta el costo adicional asociado con la cantidad de carbono por combustible en términos de emisiones, aunque parece una propuesta justificada, la aprobación del poder legislativo ajustó los incrementos y estableció que este impuesto debe ser pagado según la ley por fabricantes, productores o importadores que utilicen estos combustibles, como se muestra en la tabla 4.4 aprobada para el año 2016.

	Combustibles Fósiles	Cuota Unidad de medida
1	Propano	6.29 centavos por litro
2	Butano	8.15 centavos por litro
3	Gasolinas y gas avión	11.05 centavos por litro
4	Turbosina y otros kerosenos	13.20 centavos por litro
5	Diésel	13.40 centavos por litro
6	Combustóleo	14.31 centavos por litro
7	Coque de petróleo	16.60 pesos por tonelada
8	Coque de carbón	38.93 pesos por tonelada
9	Carbón mineral	29.31 pesos por tonelada
10	Otros combustibles fósiles	42.37 pesos por tonelada de carbono que contenga el combustible

Tabla 4.4 Impuesto para combustibles fósiles. Elaboración propia con datos de Ley de Impuestos Especiales sobre Producción y Servicios (DOF, 2015).

Tratándose de fracciones de las unidades de medida, la cuota se aplicará en la proporción que corresponda a dichas fracciones respecto de la unidad de medida de que se trate.

Cuando los bienes a que se refiere este inciso estén mezclados, la cuota se calculará conforme a la cantidad que en la mezcla tenga cada combustible. Las cantidades señaladas en el presente inciso, se actualizarán anualmente y entrarán en vigor a partir del 1 de enero de cada año, con el factor de actualización correspondiente al periodo comprendido desde el mes de diciembre del penúltimo año hasta el mes de diciembre inmediato anterior a aquél por el cual se efectúa la actualización, mismo que se obtendrá de conformidad con el artículo 17-A del Código Fiscal de la Federación. La Secretaría de Hacienda y Crédito Público publicará el factor de actualización en el Diario Oficial de la Federación durante el mes de diciembre de cada año (DOF, 2015).

Como se mencionó anteriormente, la variación de este impuesto se modifica año con año desde su instauración en 2014, y afecta directamente a los costos de producción en la industria del acero.

Si se toman en cuenta los combustibles que esta industria requiere para la producción, se estaría enfocando a gas natural, diésel, combustóleo, coque de petróleo, coque de carbón y gas LP, principalmente.

El cambio en los costos de los combustibles en estos tres años se comporta de la siguiente manera, tabla 4.5:

Combustibles fósiles	2014	2015	2016
Propano	5.91	6.15	6.29
Butano	7.66	7.97	8.15
Diésel	12.59	13.11	13.4
Combustóleo	13.45	14	14.31
Coque de petróleo	15.6	16.24	16.6
Coque de carbón	36.57	38.09	38.93
Incremento	-	1.04168	1.022149
Incremento en %	Valor establecido	4.17%	2.21%
%Acumulado	-	4.17%	6.38%

Tabla 4.5 Modificación de precios e incremento a combustibles a partir del 2014. Elaboración propia con datos del Diario Oficial de la Federación (DOF, 2013, 2014, 2015)

Dentro de la tabla anterior se excluye el gas LP ya que no está considerado en el IEPS pues su incremento puede variar durante todo el año. Por otro lado, el gas natural no tiene cabida en esta clasificación, ya que es una mezcla a la que este impuesto favorece y promueve su utilización como combustible, pues según la hoja de seguridad de PEMEX tiene un porcentaje de 88% de metano (CH₄), seguido de 9% etano, 3% propano y etil mercaptano 17-28 ppm (partes por millón), respecto a estos compuestos, el incremento en el costos de gas natural al considerarse una mezcla sería aplicable únicamente al 3% de propano, lo que equivale a 0.1887 centavos por metro cúbico, en términos supuestos.

El incremento anual del siguiente año para este impuesto se calcula con el INPC del año más reciente entre el INPC del año anterior, ambos tomando en cuenta el mismo mes (noviembre), el incremento es acumulable porque se construye a partir del incremento hecho durante el año más un cierto porcentaje, por ejemplo, para el año 2016 la adición fue del 1.022149, es decir el impuesto aprobado para 2015, más el 2.21% y desde 2014, año de la implementación, hasta 2016 el aumento ha sido de 6.38%.

En términos económicos de la rama industrial del acero, este impuesto eleva los costos para producirlo, específicamente en este estudio se considera la cantidad de insumos que emplea la industria del hierro y del acero con la finalidad de conocer cuánto se ha elevado el precio total por rama y por tipo de producción de acero en México.

Respecto a la industria básica del hierro y del acero, se puede conocer el consumo por combustible para el año más reciente de registro, que en este caso es 2014, con ayuda de los datos contenidos en la tabla 2.5 del capítulo 2 (PJ) y 3.8 del capítulo 3 (poder calorífico y sus propiedades físicas) se puede generar una estimación como la reflejada en la siguiente tabla (4.6), donde se crea el supuesto, en el que si se requiriera la misma cantidad de insumos que 2014, se estaría elevando el costo asociado con los impuestos, sin considerar que el costo de los combustibles en el mercado se modifica año con año.

Combustible	PJ	Consumo	Unidades	2014 (\$)	2015 (\$)	Total (\$)
Coque de carbón	68.89	2,720,774.092	t	99,498,708.53	103,634,285.15	203,132,993.68
Coque de petróleo	0.89	26,598.92	t	414,943.22	431,966.53	846,909.74
Diésel	1.1	30,841,109.97	l	3,882,895.74	4,043,269.52	7,926,165.26
Combustóleo	1.83	46,933,943.94	l	6,312,615.46	6,570,752.15	12,883,367.61
Gas seco	119.9	3,039,401,184.73	m ³	5,388,858.30	5,607,695.19	10,996,553.49
Total	192.61			115,498,021.25	120,287,968.53	235,785,989.78

Tabla 4.6 Incremento en impuestos a partir del supuesto de producción equivalente al 2014. Elaboración propia con datos de IMP (2014b), SENER (2014a) y DOF (2013, 2014, 2015)

El costo por consumo de coque de carbón con la aplicación del IEPS para combustibles fósiles es el de mayor aumento para la producción de hierro y acero en la rama, de acuerdo con la tabla. Si únicamente se toma en cuenta el incremento por la aplicación del IEPS, el coque hubiese tenido un valor adicional de \$103, 634,285.15 en 2015, este dato resulta relevante puesto que es el segundo insumo de mayor importancia para la producción de acero, después del gas natural.

El incremento a los costos por producción de acero se puede dividir por la forma de producción y cuanto es que estos afectan al generarse una tonelada de acero utilizando coque de carbón. Retomando los datos proporcionados en el capítulo 2, se llega a la siguiente tabla (4.7):

Proceso	Coque de carbón (Kg)	Gas natural (Kg=m ³)	2014 (\$)	2015 (\$)	2016 (\$)
AH-CBO	800		\$29,256.00	\$30,472.00	\$31,144.00
RDH-HAE	16	5.09=6.031	\$ 586.19	\$ 610.55	\$ 624.02

Tabla 4.7 Análisis del consumo de coque de carbón por proceso. Elaboración propia y modificación con datos de WSA (2014a), IMP (2014b) y Lizcano (1996)

La tabla anterior señala que el costo adicional por la aplicación del IEPS para producir una tonelada de acero líquido por AH-CBO, elevaría el costo en \$31,144.00 para 2016, contra el costo de producir la misma cantidad de acero por RDH-HAE con \$624.02 de incremento con el mismo impuesto ambiental. Con base en esto se puede decir que la tecnología de producción por horno de arco eléctrico en comparación con la producción por medio del convertidor básico al oxígeno resulta más barata después de la aplicación del IEPS y genera un menor impacto ambiental en el uso de combustibles, es importante mencionar que, en este cálculo, se excluyen otros insumos que puedan elevar el costo para producir acero, como es el caso de la energía eléctrica.

El establecimiento de impuestos ambientales como el IEPS resulto ser una medida rápida para limitar los efectos al ambiente y promover el cambio a nuevas tecnologías y combustibles de menor impacto, sin embargo no se puede calcular aun el resultado en materia de migración a nuevas tecnologías a partir de la implementación de este incremento, ni tampoco la reducción de gases de

efecto invernadero, ya que su aplicación lleva poco tiempo y existen limitaciones tecnológicas ante el cambio de combustibles.

Según el Programa de Desarrollo de Bajas Emisiones para México (MLED, por sus siglas en inglés), el potencial global de reducción para el sector industrial es de aproximadamente 19 MtCO₂e para 2020. En términos que corresponden a la industria del acero, el 39% (7 MtCO₂e) de esta reducción se debe hacer mediante la eficiencia energética en las industrias y otro 11% (2 MtCO₂e) corresponde al cambio de tecnología de AH-CBO a RDH-HAE en la industria del hierro y el acero, ya que tiene como principal combustible el gas natural (MLED, 2013). Esto implica que los precios de los combustibles derivados del IEPS podrían orientar un cambio tecnológico.

Además de estos impuestos, existen otros cambios que se pueden establecer específicamente para la industria del hierro y del acero, que promueven una reducción en la intensidad energética y las emisiones de gases de efecto invernadero, entre ellos se encuentra:

- Cogeneración
- Captura y almacenamiento de carbono (INECC, et al, 2012)
- Mantenimiento preventivo, mejoras en los procesos de flujo, motores eficientes, quemadores nuevos, sistemas de bombeo, recuperación de calor, control de humedad del carbón, o inyección de carbón pulverizado (INECC, et al, 2012)
- Mejoras en la integración del proceso

La implementación de impuestos ambientales como medida para la reducción de la intensidad energética y posteriormente la disminución en gases de efecto invernadero ha tenido éxito en países donde el impuesto recaudado es utilizado para resolver problemas relacionados con el ambiente, incentivar un cambio tecnológico en toda la industria o rama y favorecer los programas de protección al ambiente. Sin embargo, para el caso de países de Latinoamérica y particularmente México, esto no es posible por diversas razones: la escasa cultura de pago de impuestos y el reparto no direccionado de los ingresos que fueron cobrados por la federación (etiquetado de impuestos), es decir que el dinero recaudado no es necesariamente utilizado para temas medioambientales, pues entra al monto total recaudado junto con otros impuestos, que pueden ser utilizados para cualquier otro requerimiento nacional.

Para este estudio, la coexistencia de los impuestos ambientales y la producción de bienes como el acero, debe existir un equilibrio sustentable, donde no se comprometa el desarrollo económico y se establezcan verdaderas políticas de protección al medio ambiente que consideren un porcentaje considerable y constante para la mitigación de daños y protección total del ambiente. El impuesto además de cobrar por cantidad de combustibles fósiles para la producción, debe considerar la transformación tecnológica de los sectores con mayor potencial para mitigar la generación de emisiones.

Discusión

Respecto al tema del acero en México existe una controversia que desencadena diversos enfoques desde el punto de vista sustentable, donde los factores de mayor importancia para este estudio se conjugan. Por un lado, las empresas quienes creen estar en desventaja a partir de la aplicación de este impuesto, por otro lado, el ambiente, que sufre degradación sin que se tomen decisiones adecuadas en su beneficio, la sociedad, que requiere de este acero para su desarrollo, pero no paga todos los costos asociados a su producción y los efectos ambientales y finalmente el gobierno, quien debe equilibrar los puntos de vista respecto a la posición nacional. A partir de la adopción de este impuesto con base en estándares internacionales, estos sectores, han tomado algunas posturas.

Para cualquier industria, el objetivo primordial es ofrecer un bien o un servicio a cambio de una remuneración que lleva implícita la ganancia. Con la aplicación del IEPS a combustibles fósiles, las ganancias se ven reducidas por un incremento en la compra de estos insumos.

La industria del acero se sabe contaminadora por medio de emisiones que provocan calentamiento global, pero no está de acuerdo con la implementación de un impuesto que afecte sus ganancias y que tenga como finalidad la sustitución tecnológica a largo plazo. Por un lado, argumentan que la posición de México a nivel mundial como productor de acero no es la más conveniente en términos de competitividad y al aumentar el costo del producto por la aplicación del impuesto, los apartaría del mercado puesto que, se estarían incrementando los precios para los clientes finales. Por otro lado, la finalidad de este impuesto en términos de migración a nuevas tecnologías, requiere una inversión no prevista en el presente para las industrias, por lo que buscan que la recaudación de los impuestos a los combustibles sirva como un fondo de incentivo para agilizar ese cambio o mitigar daños provocados al medio ambiente. Finalmente, la industria no tiene opciones de compra de combustibles a menor precio por el cierre de competencia en este sector, además de la poca susceptibilidad a cambios por la infraestructura.

Dentro de las formas de producción en México se encuentran dos métodos, el primero AH-CBO, este tipo de producción se lleva a cabo en un 30% de la producción nacional y es la que genera mayor cantidad de emisiones por quema de combustibles como el coque. El segundo método es a partir de RDH-HAE, que utiliza mayormente gas natural y energía eléctrica (con aumentos a la tarifa por los combustibles) para su producción.

Para la industria del acero el cambio a nuevas tecnologías basadas en combustibles como el gas natural, representa una gran inversión, así como la reestructuración de procesos, donde el costo se vería reflejado en el producto. En un inicio, la producción por AH-CBO generaba los aceros de bajo costo, aunque, con la aplicación del IEPS podría estar considerándose un precio similar al de reducción directa del hierro y horno de arco eléctrico, cuyos aceros tienen una mayor calidad y concentraciones más específicas.

En cuanto al país, se tiene establecidos acuerdos globales, en los que se compromete a la reducción de emisiones contaminantes con una revisión de los mismos cambios para 2020, estos únicamente establecen la disminución de emisiones. México debe conocer las industrias que causan este efecto y estudiar la forma en la que la reducción de emisiones se ejercerá de forma efectiva.

Por la parte gubernamental, este impuesto verde fue una medida de adopción, principalmente de países de Europa con mercados estables, que ha tenido recaudaciones importantes. Este elemento ejerce una influencia sobre el cambio a nuevas tecnologías sin necesariamente evaluar la situación económica del país. El objetivo principal de este impuesto es la disminución de emisiones contaminantes, que a su vez tiene alcances asociados, uno de ellos es la reducción en la intensidad energética de los procesos productivos, tales como la generación de acero, otro es la sustitución de combustibles fósiles por los de menores impactos ambientales, tales como el coque a gas natural, y finalmente la sustitución por tecnologías más limpias, de CBO a HAE.

La diferencia en el éxito de la aplicación, es la utilización de estos impuestos para la atención de problemas ambientales, en este caso, la mitigación de daños al ambiente y la disminución de gases de efecto invernadero por sustitución tecnológica. La falta de conocimiento en el mercado y el limitado ejercicio de reinversión en temas ambientales, por parte del gobierno, puede tener un rol importante que impacte en la estabilidad económica del país y la degradación de recursos.

En temas mucho más específicos que conciernen a este estudio, la aplicación del impuesto para la utilización de combustibles fósiles en la producción de bienes como el acero, ha sido una decisión cuyo objetivo busca desincentivar el uso de estos combustibles en industrias de alta intensidad energética comparable con las emisiones de efecto invernadero señaladas como CO₂eq, implícitamente la aplicación de este impuesto se basa en la modificación tecnológica en las industrias y mejores prácticas de producción, empero este impuesto se está llevando a cabo con el principal objetivo de recaudación en el país, cuyos ingresos funcionan para la atención de otros sectores.

El impuesto debería incentivar el cambio por medio de la inversión, que prevea la adquisición de tecnologías de producción más limpias de forma rápida.

Se requieren conocer todos los factores a corto y largo plazo implícitos en la aplicación de un impuesto y buscar un equilibrio entre ellos, de forma que no afecte el desarrollo productivo del país y con bajas repercusiones al ambiente, que continúen permitiendo el desarrollo social de la nación.

Pareciera que el IEPS a combustibles fósiles solo se queda en un ámbito productivo y de gobierno, sin embargo, la sociedad indirectamente está comprando un acero más caro por los costos asociados de producción que afectan su economía y disminuyen su poder adquisitivo. Las personas requieren este material para un desarrollo propio y colectivo por medio de las construcciones, automóviles y aparatos de uso diario, los cuales cada día crecen por su demanda en el mercado.

En materia ambiental, las emisiones de gases de efecto invernadero y precursores de ozono, están teniendo efectos en el calentamiento global, por ello los acuerdos a nivel mundial buscan su reducción. Las inversiones por mitigación ambiental y prevención de gases deben cubrir el daño medioambiental para evitar efectos adversos en el futuro.

El planteamiento del IEPS, como impuesto verde a beneficio ambiental es una idea interesante si la ejecución de los objetivos se llevara a cabo, tal es el caso de la inversión para resarcir el daño medioambiental y la modificación de tecnologías amigables con el medio ambiente como medida de prevención. El hecho de modificar el método de producción, el cual se ha ejecutado por más de un siglo en el mundo, requiere una inversión considerable, restructuración de los procesos, atención en los insumos utilizados y el apoyo gobierno-empresa de forma mutua, pues todo ello compone los sectores productivos de un país.

Conclusiones

La industria del acero en México ha tenido grandes avances en temas de producción, productividad e integración de insumos, sin embargo, en la actualidad el tema medio ambiental demanda una mayor atención por parte de esta industria, esencialmente en la disminución de gases de efecto invernadero y eficiencia energética.

Por un lado, la importancia del acero para la evolución para las civilizaciones y su versatilidad lo posiciona como uno de los materiales de mayor uso a nivel mundial por otros sectores productivos, basado en sus propiedades tanto físicas como químicas únicas, así como la importancia como material commodity a nivel mundial.

En México la trascendencia de este metal se refleja en el PIB, cuya aportación representa entre 0.2%-0.5% a nivel nacional. En la industria de la construcción, su papel está asociado al índice de desarrollo económico y social en el país, donde el acero es su principal proveedor. Además, Coahuila y Nuevo León producen alrededor del 50% de la producción nacional de este metal.

Por otro lado, la industria del acero se caracteriza por una alta intensidad energética en su producción, asociado a un requerimiento importante de combustibles y a la emisión de contaminantes a la atmosfera.

El presente trabajo se enfocó al tema del medio ambiente asociado a la producción de acero y el uso de combustibles como forma de obtención de energía y posteriormente a su regulación por medio de la implementación del impuesto conocido como IEPS.

Como parte del análisis de la información se identificó, que el daño ambiental además de representar un riesgo al entorno, es una oportunidad de transformación para países con alta intensidad energética asociada a su producción. Tal es el caso de México, específicamente para la rama de producción de acero, donde los nuevos impuestos al precio de los combustibles generan incrementos en los costos de producción e implican cambios en la competitividad, pone en evidencia una capacidad de producción desaprovechada y pocos incentivos para la migración a nuevas tecnologías.

El tema ambiental en algunas industrias presenta rezagos, probablemente porque inicialmente no se identifican beneficios económicos u otros adicionales debidos a un mejor aprovechamiento de los recursos en el corto plazo, sin embargo, tal parece que el costo por degradación al medio ambiente que contabiliza INEGI podría ser mayor en un futuro próximo si no se atiende de forma inmediata. Por ello la prevención y mitigación de efectos al medio ambiente ha cobrado importancia mundial para todos los sectores de la sociedad.

Como se estudió, las políticas a nivel mundial se están modificando para penalizar las prácticas que tengan efectos adversos para el medio ambiente, es por ello que la industria del acero requiere destinar recursos para hacer más eficientes sus procesos y cumplir con las políticas medioambientales impuestas en México.

En términos más específicos, el origen del impuesto a los combustibles fósiles en México, se orientó a la reducción de emisiones de efecto invernadero a partir de la sustitución de combustibles considerados como contaminantes por otros de menor impacto. Este impuesto afecta a la industria del acero porque significa la necesidad de modificar procesos, es decir generar cambios de tecnología orientados a formas de producción menos costosas y más eficientes en el uso de la energía, por ejemplo, basada en el horno de arco eléctrico.

A su vez, la medida establecida por los impuestos ambientales podría generar un cambio en la conducta de estas empresas, con el establecimiento de un costo adicional calculado año con año para los combustibles fósiles utilizados en la producción. Esta medida, representa para las empresas pagar el IEPS por consumo de combustibles fósiles y buscar modelos de cambios tecnológicos.

El impuesto a los combustibles podría ser un incentivo al cambio tecnológico de AH-CBO a RDH-HAE y la utilización de combustibles de menor impacto ambiental, tales como el gas natural. También resulta importante que el proceso de producción incorpore el aprovechamiento de chatarra al ciclo de producción de acero por HAE.

Finalmente, mi interés como futura profesional de la ingeniería surgió a partir de enfocarme en entender la relación que puede existir entre los medios de producción de bienes de primera necesidad como el acero y el impacto ambiental que estos generan por sus emisiones asociadas. El desarrollo de la problemática de esta investigación se limitó al estudio del impacto atmosférico del proceso para producir acero y la aplicación del IEPS sobre los combustibles. Este tema multidisciplinario requirió de conocimientos en diversos temas no solo de ingeniería sino también de impuestos, medio ambiente, economía y sustentabilidad.

En el campo de la ingeniería industrial los criterios medioambientales han cobrado cada vez más relevancia, en particular cuando las empresas deben cumplir con regulaciones ambientales, reducir costos y mantener la competitividad. La aportación de este estudio para la ingeniería industrial radica en crear conciencia sobre la importancia de generar valoraciones integrales, en términos ambientales, sociales y económicos, enfocado a las emisiones del sector productivo de acero y sus repercusiones en términos económicos.

Este estudio representa un ejemplo del análisis del establecimiento de regulaciones fiscales, con impactos ambientales asociados, enfocado al sector del acero. Sin embargo, los impactos de un impuesto a los combustibles pueden valorarse para otros sectores productivos del país.

Resulta evidente que queda mucho por hacer en temas de medio ambiente y lo principal es concientizar al sector empresarial de los efectos que sus procesos pueden generar sobre el entorno, el reto es modificar prácticas productivas o productos encaminados a una mejora continua del tipo ambiental al tiempo que se buscan mejoras tecnológicas y beneficios económicos.

Apéndices

1°Propiedades Físicoquímicas (IMP, 2014a)

1. Propiedades físicoquímicas del combustóleo

Propiedad (unidades)	Valor
Azufre (mg/Kg máximo)	500
Temperatura máxima de escurrimiento (°C)	10
Temperatura mínima de inflamación (°C)	52
Temperatura de auto ignición (°C)	254 - 285
Gravedad específica 20/4 °C	Menor a 1
Color (ASTM D1500)	5 (máximo)
Olor	Característico a hidrocarburo
Viscosidad cinemática a 40 °C (mm ² /s)	1.9 – 5.8
Límites de explosividad	0.6 inferior – 6.5 superior
Solubilidad en agua (g/100ml a 20°C)	Insoluble

2. Propiedades físicoquímicas del diésel industrial

Propiedad (unidades)	Valor
Azufre (% peso)	4
Temperatura mínima de inflamación (°C)	66
Temperatura máxima de escurrimiento (°C)	15
Temperatura de auto ignición(°C)	254 - 285
Gravedad específica a 20/4 °C	1.0 máxima
Color	Líquido viscoso oscuro
Olor	Característico a hidrocarburo
Viscosidad cinemática a 50 °C (mm ² /s)	636 – 1166
Poder Calorífico Neto Mínimo(MJ/kg)	40
Solubilidad en agua (g/100ml a 20°C)	Insoluble

3. Análisis de coque según su lugar de producción (% peso)

Propiedad	Coque Cd. Madero	Coque Cadereyta
Análisis Próximo		
Humedad	10.54	1.21
Cenizas	0.35	0.36
Materia volátil	10.22	10.65
Carbón fijo	78.89	87.78
Análisis último		
Ceniza	0.35	0.36
Carbono	84.24	84.63
Hidrógeno	3.90	3.91
Nitrógeno	0.79	0.72
Azufre	6.04	6.91
Oxígeno	4.48	4.67
Poder Calorífico Superior (kJ/kg)	35,202.61	38,97.48

4. Especificaciones del gas natural

Propiedad	Unidades	Zona Sur			Resto del País
		Hasta el 31 de diciembre de 2010	Del 1 de enero de 2011 al 31 de diciembre de 2012	A partir del 1 de enero de 2013	
Metano (CH ₄)-Min.	% vol	NA	NA	83,00	84,00
Oxígeno (O ₂)-Max.	% vol	0,20	0,20	0,20	0,20
Bióxido de Carbono (CO ₂)-Max.	% vol	3,00	3,00	3,00	3,00
Nitrógeno (N ₂)-Max.	% vol	9,00	8,00	6,00	4,00
Nitrógeno. Variación máxima diaria	% vol	±1.5	±1.5	±1.5	±1.5
Total de inertes (CO ₂ y N ₂)-Max.	%vol	9,00	8,00	6,00	4,00
Etano-Max.	% vol	14,00	12,00	11,00	11,00
Temperatura de rocío de hidrocarburos- Max.	K (°C)	NA	271,15 (-2)	271,15 (-2)	271,15 (-2)
Humedad (H ₂ O)-Max.	mg/m ³	110,00	110,00	110,00	110,00
Poder calorífico superior-Min.	MJ/m ³	35,30	36,30	36,80	37,30
Poder calorífico superior-Max.	MJ/m ³	43,60	43,60	43,60	43,60
Índice Wobbe-Min.	MJ/m ³	45,20	46,20	47,30	48,20
Índice Wobbe-Max.	MJ/m ³	53,20	53,20	53,20	53,20
Índice Wobbe-Variación máxima diaria	%	±5	±5	±5	±5
Ácido sulfhídrico (H ₂ S)-Max.	mg/m ³	6,00	6,00	6,00	6,00
Azufre total (S)-Max.	mg/m ³	150,00	150,00	150,00	150,00

5. Especificaciones del gas LP

Propiedad	Unidad	Resto del País	ZMVM
Presión de vapor en exceso a la atmosférica a 37.8°C	kPa (lb/pulg ²)	688 (100) mínimo 1379 (200) máximo	896 (130) mínimo 1379 (200) máximo
Temperatura máxima de destilación del 95%.	°C	2	2
Composición:			
Etano	% vol	2.5 máximo	2.5 máximo
Propano		-	60 mínimo
n-butano + iso-butano		-	40 máximo
Pentano y más pesados		2 máximo	2 máximo
Olefinas totales		-	2 máximo
Residuo de la evaporación de 100 ml	ml	0.05 máximo	0.05 máximo
Peso específico a 15.6°C	kg/dm ³	informar	0.504 a 0.54
Azufre total	ppm (en peso)	140 máximo	140 máximo
Agua libre	Visual	Nada	Nada

2º Descripción gráfica de la producción de acero con materiales



Descripción gráfica de paso de hierro a acero. Elaboración propia con imágenes de TSI (2016)

3° Factores de emisión por defecto para la combustión estacionaria en las industrias manufactureras y de la construcción (kg de gas de efecto invernadero por TJ sobre una base calórica neta) (IPCC, 2006)

FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LA COMBUSTIÓN ESTACIONARIA EN LAS INDUSTRIAS MANUFACTURERAS Y DE LA CONSTRUCCIÓN (kg de gas de efecto invernadero por TJ sobre una base calórica neta)										
Combustible	CO ₂			CH ₄			N ₂ O			
	Factor de emisión por defecto	Inferior	Superior	Factor de emisión por defecto	Inferior	Superior	Factor de emisión por defecto	Inferior	Superior	
Petróleo crudo	73 300	71 100	75 500	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Orimulsión	r77 000	69 300	85 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Gas natural licuado	r64 200	58 300	70 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Gasolina	Gasolina para motores	r69 300	67 500	73 000	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Gasolina para la aviación	r 70 000	67 500	73 000	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Gasolina para motor a reacción	r70 000	67 500	73 000	r 3	1	10	0,6	0,2	2
Queroseno para motor a reacción	r71 500	69 700	74 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Otro queroseno	71 900	70 800	73 700	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Esquisto bituminoso	73 300	67 800	79 200	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Gas/Diesel Oil	74 100	72 600	74 800	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Fuelóleo residual	77 400	75 500	78 800	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Gases licuados de petróleo	63 100	61 600	65 600	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3	
Etano	61 600	56 500	68 600	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3	
Nafta	73 300	69 300	76 300	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Bitumen	80 700	73 000	89 900	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Lubricantes	73 300	71 900	75 200	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Coque de petróleo	r97 500	82 900	115000	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Alimentación a procesos de refinerías	73 300	68 900	76 600	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Otro petróleo	Gas de refinería	n57 600	48 200	69 000	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
	Ceras de parafina	73 300	72 200	74 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Espirita blanco y SBP	73 300	72 200	74 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Otros productos del petróleo	73 300	72 200	74 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2
Antracita	98 300	94 600	101000	10	3	30	r 1,5	0,5	5	
Carbón de coque	94 600	87 300	101000	10	3	30	r 1,5	0,5	5	
Otro carbón bituminoso	94 600	89 500	99 700	10	3	30	r 1,5	0,5	5	
Carbón sub-bituminoso	96 100	92 800	100 000	10	3	30	r 1,5	0,5	5	
Lignito	101 000	90 900	115 000	10	3	30	r 1,5	0,5	5	
Esquisto bituminoso y alquitrán	107 000	90 200	125 000	10	3	30	r 1,5	0,5	5	
Briquetas de carbón de lignito	n 97 500	87 300	109 000	n 10	3	30	r 1,5	0,5	5	
Combustible evidente	97 500	87 300	109 000	10	3	30	r 1,5	0,5	5	
Coque	Coque para horno de coque y coque de lignito	r107 000	95 700	119 000	10	3	30	r 1,5	0,5	5
	Coque de gas	r107 000	95 700	119 000	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3

FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LA COMBUSTIÓN ESTACIONARIA EN LAS INDUSTRIAS MANUFACTURERAS Y DE LA CONSTRUCCIÓN (kg de gas de efecto invernadero por TJ sobre una base calórica neta)

Combustible	CO ₂			CH ₄			N ₂ O			
	Factor de emisión por defecto	Inferior	Superior	Factor de emisión por defecto	Inferior	Superior	Factor de emisión por defecto	Inferior	Superior	
Alquitrán de hulla	n80 700	68 200	95 300	n 10	3	30	n 1,5	0,5	5	
Gases derivados	Gas de fábricas de gas	n44 400	37 300	54 100	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
	Gas de horno de coque	n44 400	37 300	54 100	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
	Gas de alto horno	n260 000	219 000	308 000	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
	Gas de horno de oxígeno para aceros	n182 000	145 000	202 000	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
Gas natural	56 100	54 300	58 300	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3	
Desechos municipales (fracción no perteneciente a la biomasa)	n 91 700	73 300	121 000	30	10	100	4	1,5	15	
Desechos industriales	n 143 000	110 000	183 000	30	10	100	4	1,5	15	
Óleos de desecho	n 73 300	72 200	74 400	30	10	100	4	1,5	15	
Turba	106 000	100 000	108 000	n 2	0,6	6	n 1,5	0,5	5	
Biocombustibles sólidos	Madera / Desechos de madera	n112 000	95 000	132 000	30	10	100	4	1,5	15
	Lejía de sulfito (licor negro) ^(a)	n95 300	80 700	110 000	n 3	1	18	n 2	1	21
	Otra biomasa sólida primaria	n100 000	84 700	117 000	30	10	100	4	1,5	15
	Carbón vegetal	n112 000	95 000	132 000	200	70	600	4	1,5	15
Biocombustibles líquidos	Biogsolina	n70 800	59 800	84 300	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Biodiésel	n70 800	59 800	84 300	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Otros biocombustibles líquidos	n79 600	67 100	95 300	r 3	1	10	0,6	0,2	2
Biomasa gaseosa	Gas de vertedero	n54 600	46 200	66 000	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
	Gas de digestión de lodos cloacales	n54 600	46 200	66 000	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
	Otro biogás	n54 600	46 200	66 000	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
Otros combustibles no fósiles	Desechos municipales (fracción perteneciente a la biomasa)	n100 000	84 700	117 000	30	10	100	4	1,5	15

^(a)Incluye el CO₂ derivado de la biomasa emitido desde la unidad de combustión de licor negro y el CO₂ derivado de la biomasa emitido desde el horno de cal de la planta de kraft.

n Indica un factor de emisión nuevo que no estaba presente en las *Directrices del IPCC de 1996*.

r Indica un factor de emisión que se revisó a partir de las *Directrices del IPCC de 1996*.

Siglas y unidades

AH Alto Horno (BF, Blast furnace)
AISI American Iron and Steel Institute
Alacero Asociación Latinoamericana del Acero
ASTM American Society for Testing of Materials
BNE Balance Nacional de Energía
CANACERO Cámara Nacional del Hierro y del Acero
CBO Convertidor Básico al Oxígeno (BOF, Basic Oxygen Furnaces)
CEFP Centro de Estudios de las Finanzas Públicas
CESOP Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública
CFE Comisión Federal de Electricidad
CH₄ Metano
CEPESDES Consejo Empresarial para el Desarrollo Sostenible
CMA Costo por mitigación atmosférica
CO Monóxido de carbono
CO₂ Dióxido de carbono
CO₂eq Dióxido de carbono equivalente
COVDM Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos del Metano
CTADA Costos totales por agotamiento y degradación ambiental
DLE Diccionario de la Lengua Española
DMAOTGV Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio del Gobierno Vasco
DOF Diario Oficial de la Federación
EAIM Encuesta Anual de la industria Manufacturera
EFE Economics for energy
EMIM Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera
GCE Grupo Consultivo de Expertos
GEI Gases de efecto invernadero
GPA Gastos en protección ambiental
HA Hogar abierto (OH, Open Heart)
HAE Horno de Arco Eléctrico (EAF, Electric Arc Furnaces)
IEA International Energy Agency
IEPS Impuestos Especiales sobre Producción y Servicios
IGES Instituto para las Estrategias Ambientales Globales (Institute for Global Environmental Strategies)
IIMA International Iron Metallics Association
IMP Instituto Mexicano del Petróleo
INE Instituto Nacional de Ecología
INECC Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGEI Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero
INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INPC Índice Nacional de Precios al Consumidor
IPCC Panel Intergubernamental de Cambio Climático
LCE Ley de Comercio Exterior
LIFEF Ley de Ingresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal

MGMI MGM Innova
MLED Programa para el Desarrollo Bajo en Emisiones de México (MLED Program, Mexico Low Emission Development Program)
MTU Michigan Technological University
NAFTA North American Free Trade Agreement (Tratado de Libre Comercio de Norte América)
N₂O Óxido nitroso u óxido de nitrógeno
NO_x Óxidos de nitrógeno
OCDE Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
OIT Organización Internacional del Trabajo
ONU Organización de las Naciones Unidas
PCN Poder calorífico neto
PEMEX Petróleos Mexicanos
PIB Producto Interno Bruto
PNUD Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
RDH Reducción directa del hierro (DRI, Direct Reduction Iron)
SAE Society of Automotive Engineers
SE Secretaría de Economía
SEMARNAT Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER Secretaría de Energía
SGM Servicio Geológico Mexicano
SHCP Secretaria de Hacienda y Crédito Público
SHF Sociedad Hipotecaria Federal
SIE Sistema de Información Energética
SO₂ Dióxido de azufre
TSI The Steel Index
USSC United States Steel Corporation
WEC World Energy Council (Consejo Mundial de la Energía)
WSA World Steel Association

[Å] Ångstroms, Angstroms

GJ Giga joule

Gg Giga gramos

MMdp millones de pesos

MMpcd millones de pies cúbicos diarios

MMt millones de toneladas

MMtOe millones de toneladas de petróleo equivalente

MMMtOe mil(es) de millones (de) millones de toneladas de petróleo equivalente

MWh Mega watt por hora

ppm partes por millón

t Tonelada

TWh Tera watt por hora

US\$ dólar(es)

Glosario

- **acero wootz:** Uno de los primeros aceros fabricado en India, a partir de la fundición de hierro puro con carbono y madera en tozos en un crisol.
- **aleación:** Un material que exhibe propiedades de un material metálico y está conformado por múltiples elementos.
- **alotrópico:** Cuando un metal (u otro material) cambia su estructura según lo descrito.
- **alto horno:** Se refiere al hecho en el que las paredes del horno en el que se hacía la fusión se levantaron como una chimenea elevada.
- **antropogénico:** de origen humano o derivado de la actividad del hombre.
- **arrabio:** Producto líquido que se obtiene a partir del proceso de alto horno y está disponible para ser transportado al proceso de horno abierto o convertidor básico al oxígeno.
- **carbón vegetal:** Sólido combustible resultado de la combustión incompleta de restos orgánicos, principalmente madera.
- **cementación o carburación:** Proceso de endurecimiento de superficies que consiste en someter el metal a una atmosfera potencial de carbono, buscando la absorción por difusión de este en la superficie.
- **commodities:** Palabra que proviene del inglés, que hace referencia a los productos que se comercian a granel a nivel mundial y que son utilizados para procesos de transformación.
- **Consumo nacional aparente:** El Consumo Nacional Aparente es una forma de medir la cantidad de producto de que dispone un país para su consumo.
- **diagrama de fases:** medio gráfico que representa las fases de un sistema de aleación metálica como una función de la composición y la temperatura.
- **dióxido de carbono equivalente:** es una medida universal de medición utilizada para indicar la posibilidad de calentamiento global de cada uno de los gases con efecto invernadero. Es usado para evaluar los impactos de la emisión (o evitar la emisión) de diferentes gases que producen el efecto invernadero.
- **dumping:** práctica desleal que afecta al precio de venta del producto.
- **Efecto invernadero:** Acenso gradual en la temperatura terrestre, producto de la absorción de calor de ciertos gases al interior de la atmosfera terrestre, que a su vez impiden su escape al espacio.
- **emisión fugitiva:** incluyen las fugas de los equipos, las pérdidas por evaporación en el almacenamiento de hidrocarburos y las pérdidas de gas natural cuando éste se usa como medio de propulsión en los sistemas de control, en las bombas de inyección de aditivos y en el arranque de los compresores.
- **exportación:** Salida legal de una mercancía de un territorio, hacia otro país extranjero.
- **ferrería:** Taller que regularmente estaba cerca de los yacimientos.
- **ferroso(a):** Viene de la palabra Ferrum que los romanos empleaban para el fierro o hierro. Por lo tanto, los materiales ferrosos son aquellos que contienen hierro como su ingrediente principal.
- **fuelle:** Es cualquier proceso o actividad que libera un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero en la atmósfera. Esta liberación de gases se denomina emisión.
- **ganga:** sinónimo del hierro esponja generado por reducción directa, contiene 90%-94% y es obtenido por medio del proceso de reducción directa.
- **importación:** la entrada legal de mercancías de procedencia extranjera para consumo en un territorio aduanero.

- **Impuesto directo:** Aquellos que agravan la obtención de renta o tenencia de riqueza.
- **Impuesto indirecto:** Aquellos que agravan el uso de la renta, son divididos en dos grupos, los impuestos sobre el consumo y el impuesto que grava las importaciones.
- **Industria básica del hierro y del acero:** Comprende los establecimientos que se dedican a la fabricación de productos primarios de hierro y acero, incluyendo todo el proceso de transformación desde la reducción del mineral y la fundición, hasta la fase de obtención de productos vaciados, laminados forjados y laminados soldados.
- **mitigar:** Acción de moderar, aplacar o disminuir.
- **opacidad:** Impenetrabilidad al paso de la luz.
- **partículas primarias:** son aquellas que se emiten directamente a la atmósfera por diversas fuentes.
- **partículas secundarias:** son aquellas que se forman en la atmósfera como resultado de reacciones químicas a partir de la presencia de materiales gaseosos, llamados precursores.
- **pig iron:** Producto a partir del proceso de alto horno con un promedio de 92% Fe que se deja enfriar en moldes rellenos por un canal de tal manera que rellena formas ovaladas de las que proviene el nombre pig.
- **poder calorífico:** propiedad química relacionada con la masa de átomos de carbono del total de un combustible de manera que otorga la cantidad de energía presente en la materia.
- **prueba metalográfica:** preparación de una muestra metálica sometiéndola ha pulido y lijado, de tal manera que la estructura pueda examinarse utilizando un microscopio.
- **punto eutectoide:** Se refiere a la temperatura en el punto de fusión más bajo para un sistema de aleación (el término eutéctico se deriva de la palabra griega *eutektos*, que significa que se funde con facilidad).
- **recocido:** Tipo de tratamiento térmico que consiste en calentar el metal a una velocidad moderada en tiempo y temperatura especificados y posteriormente dejar enfriar lentamente, reduciendo la dureza para el maquinado.
- **reflectividad:** Capacidad de reflejar la luz.
- **regeneración:** Para el caso de producción de acero, los humos que escapaban del horno, luego servían para calentar el aire de combustión.
- **reverbero:** tipo de horno generalmente rectangular, cubierto por una bóveda de ladrillo refractario, que refleja (o reverbera) el calor producido en un sitio independiente del hogar donde se hace la lumbre.
- **Revolución industrial:** Periodo histórico entre 1760 y 1840 en Inglaterra que trajo cambios tecnológicos, socioeconómicos y culturales. Pasando de una producción artesanal a la producción industrial y mecanizada.
- **subsidio:** Son los ingresos sin contraprestación que la unidad económica recibió de los diferentes niveles de gobierno, en dinero o en especie, destinados a sufragar los gastos corrientes de operación.
- **templado:** Tipo de tratamiento térmico que consiste en enfriar el metal rápidamente con ayuda de algún medio en una fase austenítica adecuada.

Bibliografía

- American Iron and Steel Institute (AISI). 2016. Portal de internet. Disponible en <http://www.steel.org/making-steel/how-its-made.aspx> (03/07/2016)
- Askeland D., Fulay P., Wright W. 2011. Ciencia e ingeniería de materiales, 6°ed., Cengage Learning, México.
- Asociación Latinoamericana del Acero (Alacero). 2015. América Latina en cifras 2015. Santiago de Chile. Disponible en [http://www.alacero.org/sites/default/files/publicacion/america latina en cifras 2015.pdf](http://www.alacero.org/sites/default/files/publicacion/america%20latina%20en%20cifras%202015.pdf) (24/02/2016)
- Breña G. 1996. México a través del acero, CANACERO, México, pp.19-63
- Callejas A. 2013. Panel temático: Impuestos verdes en México, retos y perspectivas. Memorias del primer foro de Impuestos verdes, Puebla de Zaragoza. Disponible en http://www.prodecon.gob.mx/Documentos/RelacionesInstitucionales/ImpuestosVerdes_20012014.pdf (23/02/2016)
- Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero (CANACERO). 2014. Infografía, México Panorama siderúrgico, abril 2015. Disponible en [http://www.canacero.org.mx/Es/assets/infografia canacero abril actualizado.pdf](http://www.canacero.org.mx/Es/assets/infografia_canacero_abril_actualizado.pdf) (26/02/2016)
- Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero (CANACERO). 2014. Perfil de la industria siderúrgica en México 2004-2013, CANACERO. Disponible en http://www.canacero.org.mx/Es/assets/perfil_2004_2013_rev_10_julio_2014.pdf (03/03/2016)
- Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero (CANACERO). 2016. Infografía de la industria del acero en México, 2016. Disponible en [http://www.canacero.org.mx/Es/assets/infografia de la industria del acero en-mexico 2016.pdf](http://www.canacero.org.mx/Es/assets/infografia_de_la_industria_del_acero_en-mexico_2016.pdf) (26/02/2016)
- Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero (CANACERO). 2016. Portal de internet. Disponible en <http://www.canacero.org.mx/Es/reciclaje.html> (21/11/2015)
- Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (CEFP). 2015. Impuestos ambientales en México y el mundo, Cámara de Diputados, LXII legislatura, 29 de enero 2015. Disponible en <http://www.cefp.gob.mx/publicaciones/nota/2015/enero/notacefp0022015.pdf> (29/01/2016)

- Consejo Empresarial para el Desarrollo Sostenible (CESPEDES). 2015. Propuesta del impuesto al carbono: Nota para el posicionamiento de CESPEDES. Versión 20130917.8. Disponible en <http://www.cespedes.org.mx/wp-content/uploads/2015/03/Impuesto-al-carbono-extenso.pdf> (29/09/2016)
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). 2013. Prospectiva mundial del carbono y el caso de mexicano. Dirección de Proyectos de Inversión Financiada Subdirección de Proyectos y Construcción Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil. Presentación. Disponible en http://sociedadgeologica.org.mx/PRESENTACIONES_2013/Prospectiva%20mundial%20del%20carbon%20y%20el%20caso%20mexicano%20VP.pdf (08/09/2016)
- Del Ángel E. 2012. Presentación: Descripción de las Metodologías del IPCC y Las Guías de Buenas Prácticas para la elaboración de un inventario de emisiones de GEI, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Tabasco. Disponible en <http://www.colpos.mx/tabasco/diplomado/04/dra%20ebelia/diplomado-4-02-2012-cc.pdf> (04/02/2016)
- Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio del Gobierno Vasco (DMAOTGV). 2007. Guía técnica para la medición. Estimación y cálculo de las emisiones al aire, Sector acero, Real Decreto 508/2007 de 20 de abril y Reglamento EPRTR, España, 20-24 PP. Disponible en http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.eus/contenidos/documentacion/eptr/es_guia/adjuntos/acero.pdf (01/07/2016)
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2013. Segunda sección, Poder ejecutivo, Secretaria de Hacienda y Crédito Público (SHCP), Ley del Impuesto Especial sobre Producción y Servicios (IEPS), Artículo 2, fracción I, inciso H), Combustibles fósiles, miércoles 11 de diciembre de 2013. Entró en vigor: 01 de enero de 2014. Disponible en http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lieps/LIEPS_ref41_11dic13.pdf (05/10/2016)
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2014. Segunda sección, Poder ejecutivo, Secretaria de Hacienda y Crédito Público (SHCP), Actualización de cuotas del Ley del Impuesto Especial sobre Producción y Servicios (IEPS) aplicado a los combustibles fósiles, Artículo 2, fracción I, inciso H), Combustibles fósiles, lunes 22 de diciembre de 2014. Entró en vigor: 01 de enero de 2015. Disponible en http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lieps/LIEPS_cant01_22dic14.pdf (05/10/2016)
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2015. Primera sección, Acuerdo por el que se actualizan las cuotas que se especifican en materia del Impuesto Especial sobre Producción y Servicios (IEPS), Artículo 2, fracción I, inciso H),

- Combustibles fósiles, jueves 24 de diciembre de 2015. Entró en vigor: 01 de enero de 2016. Disponible en http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lieps/LIEPS_cant03_24dic15.pdf (05/10/2016)
- Diccionario de la Lengua Española (DLE). 2016. Versión por internet. Disponible en <http://dle.rae.es/> (02/11/2015)
 - Echenique X. 2012. El déficit comercial de Estados Unidos frente a la entrada de China a su mercado, México y la Cuenca del Pacífico, Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades, México, pp. 74-76. Disponible en http://www.mexicoylacuencadelpacifico.cucsh.udg.mx/articulo/el_deficit_comercial_de_estados_unidos_frente_a_la_entrada_de_china_a_su_mercado (09/08/2016)
 - Economics for energy (EFE). 2010. Análisis de la evolución de la intensidad energética en España, Informe, España. Disponible en http://www.eforenergy.org/docpublicaciones/informes/Informe_ejecutivo_2010.pdf (06/09/2016)
 - Fenton M. 2013. Metal Prices in the United States Through 2010, Iron and Steel (Fe), Geological Survey National Minerals Information Center (USGS), Virginia, pp.69-71. Disponible en <http://pubs.usgs.gov/sir/2012/5188/> (23/02/2016)
 - Fernández G. 2014. Impuestos verdes: su impacto ambiental. Creación de mercados y tendencias en política ambiental, Cámara de Diputados LXXII Legislatura, Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública (CESOP), núm. 162. Disponible en <http://www5.diputados.gob.mx/index.php/camara/Centros-de-Estudio/CESOP/Estudios-e-Investigaciones/Documentos-de-Trabajo/Num.-162.-Impuestos-verdes-su-impacto-ambiental.-Creacion-de-mercados-y-tendencias-en-politica-ambiental> (23/02/2016)
 - Groover M. 2007. Fundamentos de manufactura moderna, 3° ed., Mc Graw Hill, México.
 - Grupo Consultivo de Expertos (GCE) sobre las comunicaciones nacionales de las partes no incluidas en el anexo I de la convención. 2012. Materiales de Formación del GCE Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, Sector de la Energía- Quema de Combustibles, United Nations Framework Convention on Climate Change. Disponible en http://unfccc.int/national_reports/non-annex_i_natcom/training_material/methodological_documents/items/7777.php (06/09/2016)

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 2006. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, volumen 2: Energía, capítulo 2: Combustión estacionaria, Instituto para las Estrategias Ambientales Globales (IGES, del inglés, Institute for Global Environmental Strategies), Francia. Disponible en <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol2.html> (07/10/2016)
- Guzmán F. 2013. Análisis de aceros por microscopía óptica, Tesis de licenciatura en ingeniería mecánica, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Profesional Azcapotzalco, IPN, México, Capítulo V. Disponible en <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12065/ANALISISACERO.pdf?sequence=1> (17/02/2016)
- Hinojosa M. 2000. La estructura cristalina de los metales, Ingenierías, julio-septiembre 2000, vol.III, no.8, UANL, San Nicolás de los Garza, pp.20-25. Disponible en http://www.acienciasgalilei.com/qui/pdf-qui/la_estructura_cristalina_met.pdf (23/03/2016)
- Infomine Inteligencia y tecnología minera. 2016. Portal de internet y modificación de gráficas. Disponible en <http://www.infomine.com/investment/> (04/03/2016)
- Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). 2014. Informa técnico, proyecto: Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles que se consumen en México, primer informa parcial, Dirección de Servicios de Ingeniería Gerencia de Servicios en Ingeniería Región Centro-Norte, México. Disponible en http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2014_inf_parc_tipos_comb_fosiles.pdf (03/06/2016)
- Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). 2014. Informa técnico, proyecto: Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles que se consumen en México, tercer informa, final, Dirección de Servicios de Ingeniería Gerencia de Servicios en Ingeniería Región Centro-Norte, México. Disponible en http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2014_inf_fin_tipos_comb_fosiles.pdf (15/02/2016)
- Instituto nacional de Ecología (INE). 2002. Impuestos ambientales, lecciones en países de la OCDE y experiencias en México. México Disponible en <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/373.pdf> (12/12/2015)
- Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (INE-SEMARNAT). 2011. Guía metodológica para la estimación de emisiones de PM_{2.5}, Ciudad de México, 13-20 pp. Disponible en

<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/225459.pdf> (12/09/2016)

- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2010. IV. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. México quinta comunicación nacional ante la CMNUCC, México. Disponible en <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/685/inventario.pdf> (22/02/2016)
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) Informes del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990 – 2010, Archivo Excel con la serie del tiempo 1990-2010 en CO₂eq, México. Disponible en <http://www.inecc.gob.mx/cpcc-lineas/1165-inem-1990-2010> (02/09/2016)
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)-Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). 2012. Actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010, para la Categoría de Procesos Industriales, México. Disponible en http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/inf_inegei_piup_2010.pdf (15/02/2016)
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), MGM Innova (MGMI), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), gef. 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. Disponible en http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2012_estudio_cc_mitgef13.pdf (22/09/2015)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2013. Encuesta Anual de la Industria Manufacturera EAIM 2013, Cifras preliminares, México. Disponible en http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos//prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/encuestas/establecimientos/indus_manu/EAIM/EAIM2013/PUB_EAIM_2013.xls (23/02/2016)
- Instituto Nacional de Estadística y geografía (INEGI). 2013. Sistema de Cuentas Nacionales de México Año base 2003, Cuentas económicas y ecológicas de México 2007-2011. Disponible en http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos//prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/derivada/economicas/medio%20ambiente/2007_2011/702825004034.pdf (04/10/2016)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2014. La industria siderúrgica en México 2013, México. Disponible en

http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/sociodemografico/Siderurgica/2013/702825061463.pdf
(25/02/2016)

- Instituto Nacional de Estadística y geografía (INEGI). 2014. Sistema de Cuentas Nacionales de México Año base 2008, Cuentas económicas y ecológicas de México 2013 Preliminar. Disponible en http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos//prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825068752.pdf
(03/10/2016)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2015. Encuesta mensual de la industria manufacturera (EMIM), Industria manufacturera según subsector de actividad por entidad federativa, Valor de producción, Industrias metálicas básicas, México. Disponible en <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/> (21/01/2016)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2015. Encuesta mensual de la industria manufacturera (EMIM), Total de personal ocupado, 3311 Industria básica del hierro y del acero, México. Disponible en <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/> (25/02/2016)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2015. Producto Interno Bruto Trimestral 1993-2015, INEGI. SCNM. Series originales. Millones de pesos a precios corrientes, México. Disponible en <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/tabuladosbasicos/tabdirecto.aspx?c=33704> (23/01/2016)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2016. Banco de Información económica. Portal de internet. Disponible en <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/> (12/06/2016)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2016. PIB y Cuentas Nacionales de México, Económicas y Ecológicas. Portal de internet. Disponible en <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/ee/default.aspx>
(03/10/2016)
- International Energy Agency (IEA).2015. Indicadores de Eficiencia Energética: Bases Esenciales para el Establecimiento de Políticas. Francia Disponible en https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyEfficiencyVespagnol_epdf.pdf (02/09/2016)
- International Energy Agency (IEA).2016. Energy Atlas. Disponible en <http://www.iea.org/statistics/ieaenergyatlas/> (08/08/2016)

- International Iron Metallics Association (IIMA). 2016. Reducción fundamental y aplicaciones directas. Portal de internet. Disponible en <http://metallics.org.uk/es/direct-reduction-fundamental-and-applications-short-course/> (18/07/2016)
- Janjua R. 2014. Energy use in the steel industry, World Steel Association. Disponible en https://www.iea.org/media/workshops/2014/industryreviewworkshopoct/8_Session2_B_WorldSteel_231014.pdf (06/09/2016)
- Katz M. 2011. Guía didáctica. Materiales y materias primas, Minerales de hierro, Capítulo 5, Ministerio Nacional de Educación Tecnológica, Buenos Aires. Disponible en <http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/minerales-de-hierro.pdf> (25/02/2016)
- Ley de Comercio Exterior (LCE). 1993. Diario Oficial de la Federación, publicada el 27 de julio de 1993. México <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/28.pdf> (07/10/2016)
- Ley de Ingresos se la Federación para el Ejercicio Fiscal de 2012. 2013. (LIFEF), Disponible en http://www.diputados.gob.mx/PEF2014/ingresos/03_liva.pdf (06/10/2016)
- Lizcano C. 1996. Balance termodinámico de la fabricación de acero, Tesis de maestría en ciencias de la ingeniería con especialidad en materiales, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, División de estudios de Posgrado, Universidad Autónoma de Nuevo León, México, Capítulo V. Disponible en <http://eprints.uanl.mx/6249/1/1080072406.PDF> (07/10/2016)
- Michigan Technological University (MTU). 2010, Introduccion to Minerals Precessing, no.19 Primary Metal Production, Department of Chiminal Engineering. Disponible en http://www.chem.mtu.edu/chem_eng/faculty/kawatra/CM2200_Primary_Metals.pdf (25/02/2016)
- Martínez L.1997. Acero, capítulo III La producción de acero, segunda edición, Fondo de Cultura Económica, México. Disponible en http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/080/htm/sec_2.htm (18/06/2016)
- McNamara G. 2011. Iron fact-ites, planetearth collection, Geological Society of Australia (GSA), Australia. Disponible en <http://www.gsa.org.au/resources/factites/factitesIron.pdf> (25/02/2016)
- Medina L. 2006. Análisis de la viabilidad económica y ambiental del uso de armaduras corrugadas de acero inoxidable en elementos de hormigón armado sometidos a clases de exposición agresivas. Aplicación a elementos

en contacto con aguas residuales agresivas, Tesina, Universidad Politécnica de Catalunya, Capítulo V. Colección digital, acceso abierto, Barcelona. Disponible en <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3319/55868-7.pdf?sequence=7&isAllowed=y> (16/03/2016)

- Muñoz, R. 2013. Los tributos verdes y los derechos fundamentales de los pagadores de impuestos, Memorias del primer foro de Impuestos verdes, Puebla de Zaragoza. Disponible en http://www.prodecon.gob.mx/Documentos/RelacionesInstitucionales/ImpuestosVerdes_20012014.pdf (23/02/2016)
- Organización Internacional del Trabajo. 2003. La seguridad en cifras, Sugerencias para una cultura general en materia de seguridad en el trabajo, Tema 2: El desafío, Muertes: 2 millones por año, Oficina Internacional del trabajo, Ginebra, 3-6 pp. Disponible en https://www.ilo.org/legacy/english/protection/safework/worldday/report_es_p.pdf (01/09/2016)
- Organización Internacional del Trabajo (OIT). 2005. Repertorio de recomendaciones prácticas sobre seguridad y salud en la industria del hierro y el acero, Parte II: Seguridades las operaciones de producción de hierro y acero, Programa de Actividades Sectoriales, Oficina Internacional del trabajo, Ginebra, 17-48 pp. Disponible en http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/normativeinstrument/wcms_112442.pdf (01/09/2016)
- PEMEX, Gas y petroquímica básica. 1972. Hoja de datos de seguridad para sustancias químicas, gas natural. Disponible en http://www.gas.pemex.com.mx/NR/rdonlyres/1D3E1128-E8A5-4CD1-B04C-DBC7CEFC0592/0/msdsgasnatural_02.pdf (28/09/2016)
- Programa de Desarrollo de Bajas Emisiones para México (MLED). 2013. Análisis actualizado de la línea base de emisiones de GEI de México, curva de costo marginal de reducción y cartera de proyectos. United States Agency International Development. Disponible en <http://www.mledprogram.org/documentos/analisis-actualizado-de-la-base-de-emisiones-de-gei-de-mexico-costo-marginal-de-reduccion-curva-y-cartera-de-proyecto.html> (22/09/2016)
- Ríos A. 2008. El dumping, como práctica desleal en el comercio internacional mexicano. Revista Jurídica Amicus Curiae, Año 1, No.1, División de Universidad Abierta y Educación a Distancia Facultad de Derecho, UNAM, México. Archivo Digital. Disponible en <http://www.journals.unam.mx/index.php/amicus/issue/view/29> (10/08/2016)

- Robledo R. 1997. Análisis metalográfico y termoquímico de aceros y fundiciones, Tesis de maestría en ciencias de ingeniería mecánica con especialidad en materiales, Facultad de ingeniería mecánica y eléctrica, UANL, San Nicolás de los Garza, Capitulo I. Colección Digital. Disponible en http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020119025/1020119025_02.pdf (27/05/2015)
- Secretaria de Economía (SE)- Coordinación General de Minería. 2014. Perfil del mercado del hierro-acero. Disponible en http://economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/pm_hierro-acero_2014.pdf (26/02/2016)
- Secretaría de Energía (SENER). 2014. Balance Nacional de Energía. Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/44353/Balance_Nacional_de_Energia_2014.pdf (20/02/2016)
- Secretaría de Energía (SENER). 2014. Prospectiva de Gas Natural y Gas L.P. 2014-2028, México. Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62944/Gas_natural_y_Gas_L.P._2014-2028.pdf (28/05/2016)
- Secretaría de Energía (SENER). 2016. Consumo final de energía en el sector industrial, Sistema de Información Energética (SIE), Estadísticas Energéticas Nacionales, BNE, Consumo final. Portal de internet. Disponible en <http://sie.energia.gob.mx/herramientas.do?action=search> (08/09/2016)
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). 2015. Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 2014, Capítulo V: Industria Siderúrgica. Disponible en http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/CapituloV_2015.pdf (20/04/2016)
- Sociedad Hipotecaria Federal (SHF). 2015. Estado actual de la vivienda en México 2015, Capítulo 4: Suelo, Centro de Investigación y Documentación de la Casa A.C. (CIDOC), Biblioteca Mexicana del Conocimiento, México, 97-99 pp. Disponible en http://www.conorevi.org.mx/pdf/EAVM_2015.pdf (11/06/2016)
- Statista. 2016. World reserves of iron ore as of 2015, by country (in million metric tons). Disponible en <http://www.statista.com/statistics/267381/world-reserves-of-iron-ore-by-country/> (15/08/2016)
- Steel Mind. 2016. Indian Steel Market Scan. Portal de internet. Disponible en <http://www.steelmint.com/> (17/08/2016)
- Steelonthenet.com. 2016. Portal Deinternet (08/08/2016)

- The Steel Index (TSI). 2016. The Steel Index Price Analyser. Portal de internet. Disponible en <https://www.thesteelindex.com/es/> (28/07/2016)
- United States Steel Corporation (USSC). 1964. The making, shaping and treating of Steel, Chapter 9 Addition Agents Used in Steelmaking, 8° ed. by Harnold E. Mcgannon, Pennsylvania.
- World Energy Council. 2010. Eficiencia Energética: Una receta para el éxito, Londres, 30-33 pp. Disponible en https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2012/10/PUB_Eficiencia_Energetica_Una_receta_para_el_exito_2010_WEC.pdf (08/09/2016)
- World Steel Association. 2012. The white book of Steel, PrintSpeed. Disponible en <https://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/press-release-downloads/2013/The-white-book-of-steel/document/The%20white%20book%20of%20steel.pdf> (19/11/2015)
- World Steel Association. 2013. Overview of the steelmaking process. Disponible en <https://www.worldsteel.org/publications/bookshop/product-details> (28/01/2016)
- World Steel Association. 2014. Fact sheet, Steel and raw materials. Disponible en https://www.worldsteel.org/publications/fact-sheets/content/00/text_files/file0/document/fact_raw%20materials_2014.pdf (23/02/2016)
- World Steel Association. 2014. Fact sheet, Steel industry by-products. Disponible en https://www.worldsteel.org/publications/fact-sheets/content/01/text_files/file/document/Fact_By-products_2014.pdf
- World Steel Association. 2015. Version por internet. Disponible en <https://www.worldsteel.org/faq/about-steel.html> (15/02/2015)
- World Steel Association. 2015. Water management in the steel industry. Worldsteel position paper. Disponible en https://www.worldsteel.org/publications/position-papers/Water-management/content/01/text_files/file/document/Water%20Management%20Position%20Paper%202015.pdf (09/06/2016)
- World Steel Association. 2015. World steel in figures 2015. Disponible en <https://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/bookshop/2015/World-Steel-in-Figures-2015/document/World%20Steel%20in%20Figures%202015.pdf> (28/01/2016)
- World Steel Association. 2016. Portal de internet. Disponible en <http://www.worldsteel.org/Steel-facts.html> (24/02/2016)