



*Las opiniones y los contenidos de los trabajos publicados son responsabilidad de los autores, por tanto, no necesariamente coinciden con los de la Red Internacional de Investigadores en Competitividad.*



Esta obra por la Red Internacional de Investigadores en Competitividad se encuentra bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 3.0 Unported. Basada en una obra en riico.net.

## “Evaluación del nivel de sustentabilidad de productos: Caso de la industria del acero”

FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ AYÓN,  
HERMILIO HERNÁNDEZ AYÓN  
JOSÉ ALEJANDRO TOLEDO GONZÁLEZ<sup>1</sup>

### Resumen

El propósito del presente estudio es el de contribuir para encontrar las mejores alternativas que tienen las empresas para subsistir en este nuevo orden mundial, donde se exige mantener un crecimiento y desarrollo, pero sin afectar las condiciones naturales del planeta; es decir, la triada: producción, competitividad y medio ambiente deben coexistir en medio de los nuevos retos que plantea el calentamiento global y cambio climático. En este estudio se plantea una metodología de evaluación denominada “MEVACC”, la cual va más allá de la aplicación del análisis del ciclo de vida, ya que toma en cuenta la capacidad de absorción y asimilación que tienen los sumideros de dióxido de carbono del planeta. Además se presenta la aplicación de la propuesta para el caso de la industria del acero.

**Palabras clave:** Sustentabilidad, competitividad, capacidad de carga, ciclo de vida

### Abstract

The purpose of this study is the help to find the best alternatives that the enterprises have to survive in this new world order, which is required to maintain growth and development, but without affecting the natural conditions of the planet; i.e. the triad: production, competitiveness and environmental protection must coexist in the middle of the new challenges posed by global warming and climate change. This study presents a methodology called "MEVACC", which goes beyond the implementation of the life cycle assessment, taking into account the absorption and assimilation capacity that have the planet carbon dioxide sinks. Implementation of the proposal in the case of the steel is also presented.

**Keywords:** Sustainability, competitiveness, carrying capacity, life cycle.

---

<sup>1</sup> Profesores de Unidad Académica de Contaduría y Administración, Universidad Autónoma de Nayarit.

## Introducción

La mayoría de las actividades económicas que se realizan en las sociedades actuales del país utilizan combustibles fósiles en la producción de la energía que consumen; entre estas actividades resaltan por su importancia las del sector industrial. La quema de combustibles fósiles para producir energía genera emisiones a la atmósfera de gases como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) el principal gas de efecto invernadero (GEI) de origen antropogénico, el cual, desde el Antropoceno, el hombre lo ha estado desechando a la atmósfera con mayor velocidad de lo que los sumideros de carbono de la Tierra lo han podido eliminar, por lo que el exceso acumulado en la atmósfera gradualmente está contribuyendo al calentamiento de la Tierra.

De acuerdo con el *Cuarto Informe de Evaluación del IPCC* en 2007, el Presupuesto de Carbono Mundial para la década de 1990, alcanzó 8 Gigatoneladas de Carbono (GtC) por año; de éstas, 3.2 GtC (40%) se quedaron en la atmósfera, mientras que el 60% restante lo absorbieron y almacenaron los sumideros de carbono (bosques y océanos de la Tierra). En el periodo de 2000 a 2007, de acuerdo con el Global Carbon Project (GCP, 2008), se emitieron a la atmósfera en promedio 10 GtC por año, de las cuales el 45% se quedó en la atmósfera y el 55% restante fue absorbido y almacenado por los sumideros de carbono. Según estos datos, dichos sumideros de carbono del planeta redujeron su capacidad de absorción y almacenamiento en un 5%, con respecto a la década de 1990.

El informe *Presupuesto de Carbón 2007* del Global Carbon Project (2008), señala que en el 2007 se alcanzaron 383 partes por millón (ppm) de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera, constituyendo la más alta concentración de los últimos 650,000 años, y probablemente, de los últimos 20 millones de años. Según el mismo informe, el promedio de emisiones alcanzadas en el periodo de 2000 a 2007, superó los peores escenarios configurados por el Panel de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) para el periodo 2000 – 2010.

De acuerdo con las *Directrices del IPCC* en 2006, el sector energético suele ser el más importante de los inventarios de emisiones de GEI, ya que en países con mayor desarrollo económico la contribución de éste sector puede alcanzar hasta el 75% del total de estas emisiones, donde el  $\text{CO}_2$  normalmente representa el 95%, mientras que el metano y el óxido nitroso son responsables del porcentaje restante. Cerca del 80% del total de emisiones de GEI corresponden a emisiones de  $\text{CO}_2$  y de estas, el sector energético comúnmente aporta más del 90%.

En México, el consumo de energía, y por lo tanto, las emisiones de CO<sub>2</sub> por la quema de combustibles fósiles, son también importantes; la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita producidas por consumo de energía en México aumentó de 3.7 en 1990 a 3.9 ton CO<sub>2</sub>/hab en 2004. En el mismo periodo, el porcentaje de participación de emisiones de CO<sub>2</sub> de México con respecto al total mundial, aumentó de 1.44% a 1.48%, lo que representó pasar de la clasificación mundial 14 a la 13 en el 2004.

El sector industrial del país, el cual agrupa a empresas que realizan actividades de transformación de alimentos y de otros tipos de bienes y mercancías, contempla, de acuerdo con el INEGI (2010a), cuatro tipos diferentes de unidades económicas: manufactureras; de la electricidad, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final; mineras; y de la construcción. Su participación en la economía nacional –misma que se encuentra directamente relacionada con la productividad de las empresas- alcanza el 35.3% del PIB nominal nacional (INEGI, 2010b), lo que habla de la importancia de este sector en la economía nacional. Dicho sector demandó durante el año 2008, 1,341.79 petajoules, por las actividades de transformación y producción (SENER, 2008), lo que significaron 372.75 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas a la atmósfera, equivalentes a la acción de secuestro de CO<sub>2</sub> de 492 millones de hectáreas de bosques durante el año mencionado<sup>2</sup>.

Dentro de la responsabilidad ambiental que demanda el desarrollo sustentable en términos de su definición en la *Cumbre de la Tierra* de Río de Janeiro en 1992, la humanidad enfrenta el reto de avanzar hacia la sustentabilidad. Industrias de diversos países, entre otros sectores de la sociedad, haciendo frente a este llamado, han realizado esfuerzos tendientes a la mitigación del cambio climático, lo que les ha brindado la oportunidad de ser más competitivas dentro del mercado y posicionar productos “sustentables”, o “amigables con el ambiente”; sin embargo, lo sustentable puede ser cuestionable, ¿Qué tan sustentables o amigables con el ambiente son en verdad? ¿Hasta qué nivel se deben reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> para considerarse verdaderamente sustentables?

El esfuerzo que se ha realizado es loable, ya que se traduce en toneladas de CO<sub>2</sub> que se han dejado de emitir a la atmósfera; pero, si el objetivo de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector industrial no considera la capacidad de carga de los sumideros de carbono de la Tierra y la rebasa, no se pueden considerar sus productos, ni sustentables, ni amigables con el medio ambiente, ya que, al superarla, contribuyen a la acumulación de emisiones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, y con esto, al calentamiento de la Tierra, poniendo en riesgo así la estabilidad climática del planeta.

---

<sup>2</sup> De acuerdo con Hernández (2009), una hectárea de bosque en México, secuestra de la atmósfera 757.7 kg de CO<sub>2</sub>.

En palabras de Jacobs (citado por Alguacil, 1998): *“Para cada elemento de la capacidad medioambiental, para cada recurso, para cada descarga de residuos en el medio ambiente puede identificarse un nivel máximo de stock o de flujo, más allá del cual esa capacidad empieza a decaer. Para una economía que apunte a la sostenibilidad, estos máximos vienen a ser efectivamente restricciones, si la actividad económica los sobrepasa, ya no se logra la sostenibilidad”*.

Elaborar un camino para determinar y evaluar el nivel de sustentabilidad de los productos que genera el sector industrial en México durante sus etapas de la cuna a la fábrica, es uno de los objetivos del presente texto, el cual posibilitará la visualización del acierto o desacierto en el consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> de origen fósil, facilitará por su comparación con otros productos, la toma de decisiones para su utilización y proporcionará información para el control y las acciones de reducción del impacto. Lo anterior le permitirá a la industria adquirir ventajas competitivas ya que, de acuerdo con Cerda (2003), la sustentabilidad en la actualidad es un factor de desarrollo competitivo; la empresa competitiva de hoy opta por estrategias de negocios que partan de la consideración de las variables ambientales para generar valor agregado y oportunidades de negocios. En palabras de Calvente (2007): hoy la competitividad se mide en función de la sustentabilidad.

### **Competitividad y sustentabilidad**

Si se parte de la consideración de que la competitividad se centra en la capacidad de una empresa para diseñar estrategias tales que permitan mantener predominio sobre otras, entonces tiene sentido no ignorar el mundo cambiante en que se encuentran inmersas, ya que aún en el modelo económico actual, el predominio del mercado dominante está siendo amenazado por productos emergentes denominados “limpios”, “verdes” u “orgánicos” que sin duda conquistarán los nuevos mercados.

Al respecto, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 1995) señala que, cuando las políticas públicas o las preferencias de los consumidores aumentan los niveles de protección ambiental, se eleva la competitividad entre empresas y entre naciones, ya que se estimula el cambio tecnológico, la inversión y el aumento de la eficiencia productiva.

La Organic Trade Association (OTA) por su parte, señala que la aplicación de la metodología de los ciclos vida (ACV) puede reducir tiempo del proceso, mejorar la calidad y reducir costos, ya que desde el diseño se determinan las características ambientales básicas del producto, lo que permite determinar el tipo de desecho que se generará y el proceso mediante el cual se reducirá la contaminación; el objetivo, señala, es llegar a cero emisiones. Otras fuentes afirman que, reducir la contaminación equivale a una mejora de la competencia, dado que, por un lado, se promueve la introducción de nuevas tecnologías, nuevos materiales y un nuevo marco regulatorio, por el otro se implementa el reuso, reciclaje y reducción de energías fósiles (López, 1996).

Los estudios sobre ACV en el mundo son muy variados y han permitido determinar cuál es el efecto de la comercialización de un mercado globalizado. Un estudio en Suecia de ACV sobre producción lechera demostró que la alimentación del ganado se importó de todas las partes del mundo. Las semillas y harinas de Alemania, la harina de soja de Brasil, la pulpa de remolacha de Polonia, la harina de girasol de Argentina, la almendra y el aceite de palma de Malasia, etc. Por otra parte, Lehmann et al., (citado por la misma fuente), demostró que, aparte de la tierra cultivable en su propia región, uno consume adicionalmente cerca de 16% de otros productos de otros continentes (Mattsson *et al.*, 2000). En México mientras tanto, los estudios son escasos y no públicos.

Desde mediados de los 80's se ha buscado estimular a las empresas para que incluyan la dimensión ambiental en su gestión y mejoren su capacidad para solucionar problemas mediante innovaciones organizacionales y tecnológicas. Para la comunidad empresarial, la sostenibilidad es más que una simple fachada. Con la adopción de prácticas sostenibles, las empresas pueden tener ventajas competitivas, aumentar su cuota de mercado, y aumentar el valor del accionista; es más, la creciente demanda de productos "verdes" está generando una competencia de premios y ranqueo, por lo que el sector productivo, la situación ambiental y la competitividad deben ir juntas; el reto es encontrar los vínculos entre el sector económico, el medio ambiente y la innovación tecnológica (López, 1996). No obstante, el debate continúa. Según la hipótesis de Simón Kuznets, premio Nobel de economía un aumento de la actividad económica (crecimiento del ingreso) conduce a un aumento de la degradación ambiental. En otras palabras, la degradación medioambiental aumenta en las primeras fases de desarrollo económico pero disminuye en las etapas posteriores, perfilando así un patrón similar a la relación en forma de campana entre desigualdad y renta per cápita. Esta relación entre calidad ambiental y crecimiento económico es avalada para el caso del CO<sub>2</sub> y los gases de efecto invernadero, según afirma Capó (sin fecha), sin embargo otras fuentes afirman no estar de acuerdo en dicha hipótesis, ya que al parecer solo es aplicable en países desarrollados (Gitli y Hernández, 2002).

Por otra parte, algunos analistas coinciden en que los países desarrollados deben bajar el ritmo de crecimiento, pero también crece el sentimiento optimista de que la innovación tecnológica y el descubrimiento de nuevos materiales pueden dar respuesta al deterioro ambiental, sobre todo a partir de acciones preventivas como es el caso de la estrategia de Prevención de la Contaminación (PP) o ecoeficiencia equivalente a alta producción, menor contaminación, tecnologías limpias y productos sanos, donde la EPA (United States Environmental Protection Agency) es la principal impulsora del PP a través de la Estrategia Nacional de Prevención de la Contaminación (National Pollution Prevention Strategy) y del Programa de Liderazgo Ambiental (Environmental Leadership Pilot Programme). Estos métodos tienen un costo menor que si se tratara de reducir la contaminación, ya que se ahorran costos y aumenta la rentabilidad global de sus operaciones. Según estimaciones, este programa PP, permite reducir entre el 20 y 30% la contaminación en el sector industrial sin invertir un centavo (López, 1996).

### **Fundamentos de la metodología**

Existen varias herramientas que permiten el análisis del consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub> en la fabricación de productos en la industria, sin embargo, la más extendida y reconocida es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV). El ACV, por sus características y objetivos, estaría dentro de los instrumentos de carácter preventivo de gestión ambiental. Su análisis inicia con la extracción de las materias primas y termina cuando la vida útil del producto finaliza, convirtiéndose en un residuo que ha de ser gestionado adecuadamente. La idea de este método, es que un producto no sólo impacta al ambiente durante su etapa de uso, sino también, cuando se fabrica y cuando se desecha.

El ACV intenta identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto. La Organización internacional para la normalización (ISO, por sus siglas en inglés), es el organismo que ha desarrollado una serie de normas enfocadas a la administración o gestión ambiental; éstas incluyen las series ISO-14040 sobre el ACV, que son de carácter voluntario. El enfoque de ciclo de vida considerado en el ACV, resulta pertinente para los fines de la presente investigación.

La principal desventaja para la aplicación del ACV es, que las metodologías de evaluación existentes<sup>3</sup> no contemplan un indicador que permita evaluar la capacidad de carga de los sumideros de carbono de la Tierra; por lo anterior, se procede al desarrollo de una propuesta basada en el ACV que considere la capacidad de carga de los sumideros de carbono de la Tierra en la evaluación de la sustentabilidad de los productos industriales a la que se denominará metodología MEVACC.

Para el desarrollo de una metodología que permita evaluar la sustentabilidad de los productos de la industria en México, es necesario dividir en dos partes el problema planteado en la introducción del presente documento y analizarlas por separado: la primera parte, tiene que ver con el consumo de combustibles fósiles para producir energía y sus emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas; la segunda parte, con sobrepasar los límites de capacidad de carga de los sumideros de carbono de la Tierra. Dichas partes, constituyen dos platillos de una balanza que, en una perspectiva de desarrollo sustentable, tendrán que estar equilibrados.

Del análisis del primer platillo de la balanza, surgió lo siguiente: se determinó un factor llamado: grado de emisión energética de CO<sub>2</sub> ( $GEE_{CO_2}$ ), expresado en kilogramos de CO<sub>2</sub> por megajoules de energía consumida (kg de CO<sub>2</sub>/Mj), el cual permite identificar –por su comparación con la capacidad de carga de la Tierra- qué tan acertadas son las acciones relacionadas con el consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas con la elaboración de productos en la industria. El  $GEE_{CO_2}$  que alcance un producto determinado, tendrá que encontrarse dentro de los límites que señala la capacidad de carga de los sumideros de carbono de la Tierra. Se desarrolló también el parámetro: capacidad de carga óptima de CO<sub>2</sub> ( $CCO_{CO_2}$ ), el cual constituye el segundo platillo de la balanza. Este parámetro representa, el nivel de relación más adecuado entre consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub>, y la capacidad de absorción y asimilación de los sumideros de carbono del planeta. La determinación de dicho parámetro y su comparación con la realidad, puede facilitar en un principio la identificación y cuantificación de la desviación de las actividades económicas del hombre orientadas a la elaboración de productos industriales, lo que permite identificar diferentes grados de sustentabilidad. Cualquier  $GEE_{CO_2}$  que alcance la igualdad con la capacidad de carga máxima de los sumideros de carbono, puede considerarse cuantitativamente sustentable; cualquier  $GEE_{CO_2}$  que se encuentre entre la capacidad de carga máxima y el límite óptimo puede considerarse cualitativamente sustentable.

---

<sup>3</sup> El software SIMAPRO holandés es uno de los paquetes computacionales comerciales de ACV más completos y de mayor difusión en el mundo; disponible también en México. Algunas de las metodologías consideradas por este software son: BEES, CML 1992, Cumulative Energy Demand, Eco-indicator 99, Ecological footprint, Ecopoint 97, EDIP 2003, EPD 2007, IMPACT 2002, IPCC 2007, TRACI 2, etc.



## De donde surge el rango

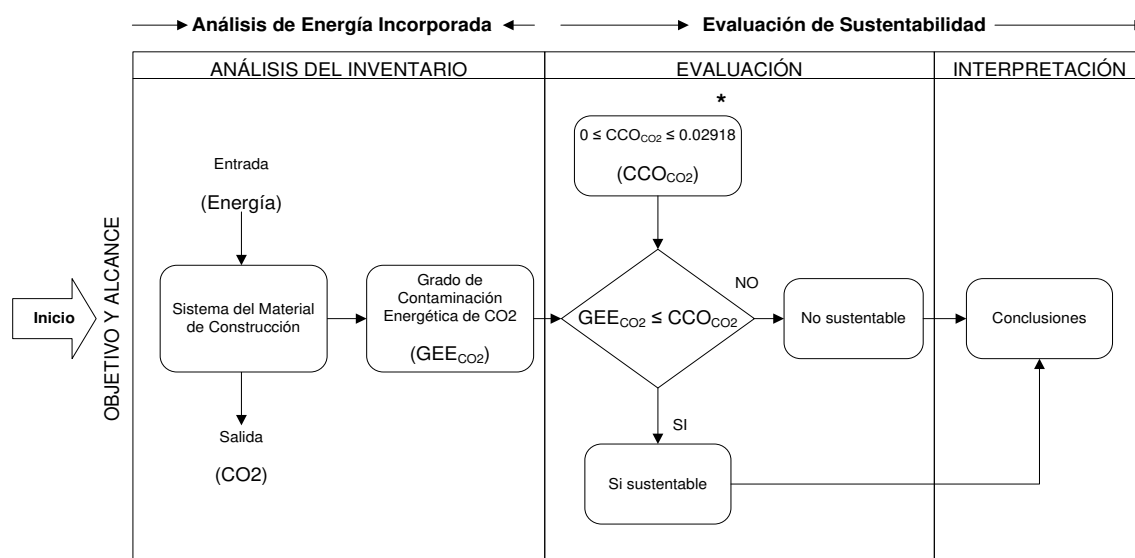
La  $CCO_{CO_2}$  calculada para México queda expresada de la siguiente manera:  $0 \leq CCO_{CO_2} \leq 0.02918$   $kgCO_2/MJ$ . Este intervalo significa que cualquier relación de consumo de energía y emisiones de  $CO_2$  de origen fósil de cualquier producto o actividad en México, para llamarse sustentable (en los términos descritos de capacidad de carga óptima) tendrá que tener un  $GEE_{CO_2}$  menor o igual a  $0.02918$   $kgCO_2/MJ$ . Valores mayores a  $0.02918$   $kgCO_2/MJ$  superan la capacidad de carga de nuestro planeta y contribuyen a la acumulación de  $CO_2$  en la atmósfera. Valores menores, apuntan hacia la sustentabilidad.

## Descripción de la metodología

Para el desarrollo de la metodología de evaluación se tomó como base la normatividad del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) desarrollada por la Organización internacional de normalización (ISO, por sus siglas en inglés), adaptada para el caso mexicano en las normas mexicanas: NMX-SSA-14040-IMNC-2008 y NMX-SSA-14044-IMNC-2008 (Normas ISO).

La MEVACC se divide en dos etapas generales: a) el análisis de energía incorporada, que contiene el objetivo, alcance del estudio y el análisis del inventario; y b) la etapa de evaluación de la sustentabilidad, que contempla la evaluación y la interpretación.

Figura 5. Etapas del proceso y flujo del proceso de la metodología MEVACC



\* Intervalo de Capacidad de Carga Óptima de  $CO_2$ , calculado para México.

Las principales características de la MEVACC son:

- Hace uso de la metodología del ACV, pero lo adapta para evaluar el nivel de sustentabilidad de productos industriales.
- Al igual que el ACV, utiliza una unidad funcional sobre la que se realiza todo el análisis, lo cual facilita la realización de los cálculos, su evaluación y comparación.
- Al considerar el ciclo de vida de los materiales, permite tener una visión completa del sistema en cuestión.
- Para uniformizar criterios en estudios comparativos de productos industriales, sugiere un nivel de detalle y profundidad.
- Utiliza la metodología de las directrices del IPCC para la determinación de factores de emisión de CO<sub>2</sub>.
- Sugiere un procedimiento para el desarrollo del análisis del inventario de entradas y salidas.
- Utiliza la relación de energía incorporada y emisiones de CO<sub>2</sub> de origen fósil (grado de emisión energética de CO<sub>2</sub>) para determinar un factor que posibilita la evaluación del nivel de sustentabilidad.
- Proporciona un parámetro de comparación llamado capacidad de carga óptima de CO<sub>2</sub> calculado para México, para aplicarse en la etapa de evaluación, el cual se basa en la capacidad de carga de los sumideros de carbono de la Tierra.

### **Aplicación de la metodología MEVACC al caso del acero: resultados**

Para la aplicación de la metodología al caso del acero en México, se consideró la producción de una tonelada de acero comercial por empresas de tipo “integradas”, ya que en promedio, cerca del 75% de las empresas productoras de acero en México, corresponden a esta clasificación (INEGI, 2007: II, 2.2.10); las tecnologías de producción consideradas fueron las dos más comúnmente utilizadas, tanto en México como en Latinoamérica, según el SEMARNAT (2006: 109): 1) el método de alto horno más horno básico de oxígeno (BF+BOF, por sus siglas en inglés), y 2) el método de reducción directa (proceso HYL) más horno de arco eléctrico (DRI+EAF, por sus siglas en inglés).

Las etapas del ciclo de vida consideradas fueron las que se incluyen en estudios de la cuna a la fábrica (extracción de minerales y su manufactura, transporte de los mismos a la industria, y producción de acero sólido).

Del análisis y evaluación de la sustentabilidad de una tonelada de acero, se obtuvieron los siguientes resultados: la tecnología BF + BOF, demanda de energía 33,986.2 MJ para la producción de una tonelada de acero comercial, lo cual genera 3,080.3 kg de CO<sub>2</sub>. Mientras que la tecnología DRI + EAF, consume 16,195.33 MJ para obtener una tonelada de acero comercial, lo que origina la emisión de 929.62 kg de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

El GEE<sub>CO<sub>2</sub></sub> de la tecnología BF + BOF se encuentra fuera del intervalo de capacidad de carga óptima (es más de 3 veces la capacidad máxima de carga), y es mayor que el límite máximo con 0.06145 kgCO<sub>2</sub>/MJ, lo que quiere decir que el 67.8% de sus emisiones no puede ser absorbidas por los sumideros de carbono de la Tierra, aportándose esa cantidad (2,088.4 kg de CO<sub>2</sub>) al total de CO<sub>2</sub> que ya existe en la atmósfera, cada vez que se produce una tonelada de acero comercial. Con relación a los procesos de producción involucrados, la menor emisión de CO<sub>2</sub> por energía consumida se realiza durante el proceso: horno básico de oxígeno, en tanto que el proceso: producción de alto horno, es el de mayor emisión de CO<sub>2</sub> por megajoule utilizado, el cual supera el GEE<sub>CO<sub>2</sub></sub> de todo el sistema. Sin embargo, el proceso de más alto consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> en el sistema es el horno de coque. Durante las etapas de ciclo de vida consideradas, la etapa de producción es la que genera la mayor cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> por energía utilizada, lo que se refleja en un GEE<sub>CO<sub>2</sub></sub> alto, aún más alto que el obtenido en todo el sistema; esta etapa consumen el 82.2% de la energía total demandada, y genera el 86.7% del total de emisiones de CO<sub>2</sub>.

El objetivo de reducción de la etapa de producción, debe ser por lo menos de 69.5% de las actuales emisiones, lo que equivale a 1,856.9 kg de CO<sub>2</sub>; el proceso de horno de coque deberá reducir sus emisiones de CO<sub>2</sub> como mínimo un 71.3% si aspira a ser sustentable, lo que equivale a una reducción de 880.7 kg de CO<sub>2</sub> con respecto a las actuales; el objetivo de reducción de emisiones de todo el sistema sería, dejar de emitir cuando menos 2,088.4 kg de CO<sub>2</sub> a la atmósfera por cada tonelada de acero producida; en términos de la sustentabilidad ya comentada, no se puede ir más allá del límite máximo de emisiones que permite la capacidad de la Tierra, que sería para este caso: 991.9 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada de acero producida.

El  $GEE_{CO_2}$  de la tecnología DRI + EAF es 0.05740 kgCO<sub>2</sub>/MJ, lo que representa 1.97 veces la capacidad de carga máxima de nuestro ambiente, superándolo con 0.02822 kgCO<sub>2</sub>/MJ. El 49.2% de las emisiones generadas por la producción de una tonelada de acero comercial, no pueden ser absorbidas por los sumideros de carbono de la Tierra, adicionándose como consecuencia a las emisiones ya existentes en la atmósfera 457.4 kg de CO<sub>2</sub>, cada vez que se produce la cantidad mencionada de acero. Durante los procesos de producción involucrados, El menor  $GEE_{CO_2}$  lo tiene el proceso de laminación, mientras que el mayor  $GEE_{CO_2}$  corresponde al proceso de reducción directa de acero, el cual contribuye con el 40.7% del total de emisiones de CO<sub>2</sub>. De las etapas de ciclo de vida consideradas, la etapa de producción tiene un  $GEE_{CO_2}$  más alto, aún mayor que el total del sistema, alcanzando el 87.7% del total de emisiones. Los objetivos principales de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> serían: un 47.9% (390.58 kg de CO<sub>2</sub>) cuando menos en la etapa de producción, y un 50.5% (191.1 kg de CO<sub>2</sub>) como mínimo en el proceso de reducción directa del acero. El objetivo de reducción de emisiones de todo el sistema sería, dejar de emitir cuando menos 457.4 kg de CO<sub>2</sub> cada vez que se produce una tonelada de acero con esta tecnología.

El comparativo del grado de emisión energética de CO<sub>2</sub> ( $GEE_{CO_2}$ ) de las dos tecnologías con la capacidad de carga óptima de CO<sub>2</sub> calculada para México, muestra un importante porcentaje de emisiones que se quedan en la atmósfera cada vez que se produce una tonelada de acero comercial en México, las cuales contribuyen con su acumulación al efecto invernadero, y con esto, a calentar más nuestro planeta. De acuerdo con lo anterior, los excesos en la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> por unidad de energía incorporada de las dos tecnologías, contribuyen a romper el equilibrio ambiental de nuestro planeta, por lo que no se pueden considerar sustentables.

## **Conclusiones**

Ante la necesidad imperiosa de avanzar hacia un desarrollo sustentable, el presente trabajo pretende coadyuvar con la empresa en la comprensión del problema del cambio climático y la visualización de posibles estrategias para reducir sus efectos. Se desarrolla una metodología de evaluación del nivel de sustentabilidad de productos de la industria, en la que se determinan de manera cuantitativa, límites a la emisión de CO<sub>2</sub> derivado del consumo de energía utilizada, lo que permite calcular para México, un intervalo de capacidad de carga de CO<sub>2</sub>, representado por el intervalo:  $0 \leq CCO_{CO_2} \leq 0.02918$  kg de CO<sub>2</sub>/MJ; este parámetro se puede utilizar para medir el nivel de sustentabilidad de cualquier actividad económica en México.

La metodología también permite, establecer objetivos de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> durante los procesos de producción y etapas del ciclo de vida del producto, que verdaderamente se puedan considerar sustentables.

La posibilidad de medir la sustentabilidad de los productos que la firma lleva al mercado y el planteamiento de estrategias basadas en productos sustentables, pone a la empresa en ventaja competitiva frente a las demás, por los argumentos sólidos que le proporciona. Existen productos denominados “verdes”, sin embargo, de acuerdo con González (2001), es un concepto relativo para distinguir aquellos productos que causan un menor impacto en comparación con otros similares a lo largo de todo su ciclo de vida; es decir, durante las etapas de extracción de materias primas, transporte, producción y empaque, uso y mantenimiento, y finalmente, durante su disposición final. El adjetivo verde tiene que ver con el esfuerzo realizado para reducir el nivel de impacto ambiental, comparado con el impacto de otro producto de similares características; si un producto reduce la magnitud de su impacto más que otro, se cataloga como verde, no importando lo grande o pequeño de este esfuerzo. Hay por lo tanto, una gran diferencia entre un producto verde y un producto sustentable.

El fabricar productos verdaderamente sustentables le abre a la empresa nuevas oportunidades de mercado, ya que el impacto ambiental de la actividad de los negocios constituye una preocupación primaria de un número creciente de consumidores, inversores, grupo de activistas y autoridades gubernamentales, entre otros. Hoy las empresas juegan un rol cada vez más activo en la sociedad; ya no son sólo generadoras de empleo y riqueza, sino que aportan al desarrollo de las comunidades en que están insertas. Los beneficios son: el mejoramiento del desempeño financiero, la reducción de costos operativos y la mejora de la imagen de marca y reputación. Le permite además, a la empresa, obtener desempeños sobresalientes para lograr diferenciarse de sus competidores y marcar estándares ambientales que la competencia tendrá que cumplir.

Finalmente, el tipo de control ambiental que elijan las empresas dependerá de la naturaleza del giro, de los recursos disponibles, del marco regulatorio, del componente organizacional y de disponibilidad de información, pero sobre todo dependerá de la calidad con que se haga el estudio de los productos de la cuna a la fábrica, lo cual este esfuerzo aquí presentado es un intento por contribuir a ello.

## Referencias

Alguacil, J. (1998). *Calidad de vida y praxis urbana*. Recuperado de Documentos CF+S el 10 de febrero, 2010 de [http://habitat.aq.upm.es/cvpu/acvpu\\_5.html](http://habitat.aq.upm.es/cvpu/acvpu_5.html)

Calvente, A. (2007). *Sustentabilidad y competitividad global*. Recuperado del Centro de Altos Estudios Globales de la Universidad Abierta Interamericana el 27 de Septiembre, 2010 de <http://www.sustentabilidad.uai.edu.ar/pdf/sde/UAIS-SDS-100-001%20-%20Competitividad.pdf>

Capó, J. (sin fecha). *Curva de Kuznets Ambiental*. Recuperado de Evidencia para Europa el 21 de septiembre, 2010 de <http://www.revecap.com/encuentros/antiores/xiieea/trabajos/pdf/054.pdf>

Cerda, A. (2003). *Empresa, competitividad y medio ambiente*. Recuperado de Panorama Socioeconómico, Universidad de Talca el día 27 de septiembre, 2010 de <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=39902604>

GCP. (2008). *Carbon budget 2007*. Recuperado de Global Carbon Project el 30 de abril, 2008 de [www.globalcarbonproject.org](http://www.globalcarbonproject.org)

Gitli, E. y Hernández, G. (2002). *La existencia de la curva de Kuznets Ambiental (CKA) y su impacto sobre las negociaciones internacionales*. Recuperado del Centro Internacional de Política Económica para el Desarrollo Sostenible el 13 de septiembre, 2010 de <http://www.grupochorlavi.org/php/doc/documentos/curvakuznetsambiental.pdf>

González, A. (2001). *Ecodiseño, ingeniería de diseño de producto y los retos del mercado verde*, Recuperado de Centro Nacional de Producción Más limpia el 28 de septiembre, 2010 de <http://www.cnpml.org/html/archivos/Ponencias/Ponencias-ID16.pdf>

Hernández, F. J. (2009). *Energía Incorporada y emisiones de CO<sub>2</sub> en la edificación. Metodología para evaluación del nivel de sustentabilidad de materiales de construcción, caso de estudio: el acero*. Tesis de Doctorado en Arquitectura, UNAM, Distrito Federal, México.

INEGI. (2007). *La industria siderúrgica en México, Serie de estadísticas sectoriales*. Recuperado del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática el 27 de junio, 2008 de [http://www.inegi.gob.mx/lib/buscador/busqueda.aspx?s=prod\\_serv&textoBus= la%20industria%20siderurgica%20en%20mexico&e=&seccionBus=bd](http://www.inegi.gob.mx/lib/buscador/busqueda.aspx?s=prod_serv&textoBus= la%20industria%20siderurgica%20en%20mexico&e=&seccionBus=bd)

INEGI. (2010a). *Estadísticas económicas*. Recuperado del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática el 25 de junio, 2010 de <http://www.inegi.org.mx>

INEGI. (2010b). *Producto interno bruto nominal del segundo trimestre de 2010*. Recuperado del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática el 25 de septiembre, 2010 de <http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/comunicados/pibcorr.asp>

IPCC. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. Guía. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds). Japón: IGES.

IPCC. (2007). *Contribución del Grupo de Trabajo I al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC*. Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. Informe, Cambridge, Reino Unido y Nueva York. EU: Cambridge University Press.

López, A. (1996). *Competitividad, Innovación y Desarrollo Sustentable*. Recuperado de Miami University & Avina Foundation el 09 de septiembre, 2010 de <http://www.fundcenit.org.ar/Descargas/dt22.pdf>

Mattsson, B., Christel, C. y Blix, L. (2000). *Use agricultural land in ACV*. Recuperada del Diario de producción más limpia el 7 de septiembre, 2010 de [www.elsevier.com/locate/jclepro](http://www.elsevier.com/locate/jclepro)

OCDE. (1995). *Report on trade and environment to the OECD Council at Ministerial Level*. Recuperado de <http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=1526460>

SENER (2006). *Balance Nacional de Energía 2005*. Secretaría de Energía, Distrito Federal, México: Autor.

SEMARNAT (2008). Criterios de evaluación de impacto ambiental. Recuperado de la *Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales* el 26 de septiembre, 2008 de <http://www.semarnat.gob.mx/fofocalizada/impacto/Paginas/criterios.aspx>