

ENSAYO

~
ESSAY



LA SOSTENIBILIDAD DEL ACERO Y LAS ESTRUCTURAS DERIVADAS EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Steel sustainability and the use of steel by products in the construction industry

POR

Pedro J. MONTILLA MORENO

Universidad de Los Andes, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Mérida, Venezuela
mpedro@ula.ve

Henry A. SOLSONA B.

Universidad de Los Andes, Departamento de Ingeniería, Núcleo Universitario Rafael Rangel (NURR), Trujillo, Venezuela.
henryolsona@hotmail.com.ar

pp. 302 — 331

RECIBIDO 15/03/2014
ACEPTADO 21/09/2014

RESUMEN

El trabajo analiza el estado actual, perspectivas, avances, retos y oportunidades, en el contexto de la sostenibilidad del acero como material de construcción y las estructuras metálicas basadas en este material, y se presentan las razones que sustentan su sostenibilidad y conveniencia de uso, con énfasis en la industria de la construcción. El desempeño ambiental del acero, con aplicación de la investigación, desarrollo e innovación tecnológica, es mejorado y perfeccionado constantemente. Esto le abre grandes posibilidades al material que, no obstante, en un mundo globalizado, enfrenta grandes desafíos para su avance y consolidación como material sostenible. Algunos de los cuales, por su mayor importancia y trascendencia, son expuestos en este trabajo. Adicionalmente, se plantean algunas conclusiones relacionadas con la investigación realizada a los efectos de orientar y promover el análisis y discusión de este interesante tópico, con miras a impulsar, en función de su sostenibilidad, el uso de este material y por ende, contribuir a garantizar la salud, medio ambiente, confort y calidad de vida necesaria para la preservación y subsistencia del ser humano, como motivación y objetivo insoslayable del Desarrollo Sostenible.

PALABRAS CLAVE

Sostenibilidad, desarrollo sostenible, acero, estructuras metálicas, construcción sostenible, análisis del ciclo de vida

KEY WORDS

sustainability, sustainable development, steel by-products, sustainable construction, life cycle analysis

SUMMARY

In this paper we analyze the current status, perspectives, advances, challenges and opportunities offered by steel sustainability and its by-products as construction materials. We make the case for steel sustainability and the benefits of using this material, with a particular emphasis on its use in the construction industry. The environmental efficacy of steel, supported by research and technological development and innovation, has been constantly improved and perfected. This enhances the uses of this product, which, in the current globalized economy, faces great challenges before it reaches and consolidates its status as a sustainable product. These key challenges are discussed in this paper. We also draw some conclusions in relation to the research undertaken in order to instigate the discussion and analysis of this relevant topic with the aim to promote the use of this product based on its sustainable qualities, thus contributing to improved wellbeing, environment, and quality of life of humankind, as necessary conditions for its preservation and survival, which inevitably would influence the aim of sustainable development

— 1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento y desarrollo de la humanidad, en las últimas décadas, ha estado signado por procesos que han alcanzado carácter y trascendencia mundial. Tales procesos son conocidos, en orden de aparición, como la industrialización y la globalización. La industrialización es un proceso intrínseco de las propias demandas y necesidades derivadas del crecimiento y desarrollo de la raza humana, sin él, la humanidad no podría tener los adelantos sociales, tecnológicos y económicos de hoy día, los cuales, evidentemente, han contribuido favorablemente al mejoramiento del confort, bienestar, calidad de vida y salud del ser humano.

Por su parte, el término globalización, tal como lo define el Diccionario de la Real Academia Española (DRAE, 2014), es entendida como la tendencia de los mercados y de las empresas a extenderse, alcanzando una dimensión mundial que sobrepasa las fronteras nacionales, y es básicamente un proceso de economía de libre mercado, a gran escala y de carácter mundial. Se señala la globalización como proceso de transformación mundial, por cuanto, en líneas generales ha traído consigo reconocido impacto en la reducción de precios, más empleos, disminución de los índices de pobreza e incremento en la alfabetización, mayor democracia y reafirmación del estado de derecho, así como, crecimiento de la participación de la mujer en asuntos políticos, incremento en la producción, desarrollo económico y de los niveles de vida en la población, especialmente para los que viven en la países en desarrollo (Ferrer, 1997 y Sachs, 2005).

Sin embargo, este auge progresivo del desarrollo socioeconómico mundial ha provocado mayores y más crecientes demandas de energía y recursos que han introducido distorsiones importantes en el medio ambiente, incluso, en algunos casos, han provocado la sobreexplotación del mismo (Montilla, 2010). En países industrializados se consumen actualmente los recursos naturales disponibles a una escala insostenible, particularmente en lo que respecta a los combustibles fósiles no renovables (Gervasio, 2009).

Uno de los sectores del mundo industrializado más intensivo en el uso de los materiales es la industria de la construcción. Las edificaciones y las infraestructuras consumen entre el 45 % y el 60 % de los materiales extraídos de la litósfera y en su utilización, junto a la actividad constructiva, está el origen de la mitad de las emisiones de CO₂ vertidas a la atmosfera (Borsani, 2011). En la industria de la construcción y, en general, en el mundo industrializado y globalizado actual, la selección y uso adecuado, racional y eficiente de los materiales, incluidos los metales y sus derivados, ha sido una constante preocupación y motivo de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) por parte de instituciones académicas y organizaciones especializadas en la materia.

De esta selección depende en gran medida la trascendencia y nivel del impacto generado por las construcciones, llamadas comúnmente ambiente construido, sobre los ecosistemas naturales. La producción y transporte de materiales y componentes de las construcciones en general consumen recursos y energía, y generan emisiones al ambiente. En consecuencia, la elección de los materiales y componentes de las construcciones debe entonces tomar en cuenta su ciclo de vida completo: explotación de materias primas, transformación, puesta en obra, remoción y reciclaje (Borsani, 2011).

Es por ello que conocidos investigadores acertadamente sostienen que las civilizaciones humanas en todas las épocas han sido conocidas y caracterizadas por el uso de sus metales concurrentes, tales como la edad del cobre, edad del bronce, edad del hierro, etcétera y, adicionalmente, que entre los metales más usuales en el mundo industrializado actual, en su gran mayoría reciclables, el acero es el metal más usado y reciclado del mundo (Kibert, 2008 y Yellishetty *et al.*, 2011). La construcción con este material significa su uso en elementos estructurales principales de una determinada edificación. El acero hoy día está presente no sólo en la estructura de soporte de la edificación, sino, comúnmente, también es parte constituyente de sistemas de conexiones y anclajes, fachadas, particiones y cerramientos,

decoración, iluminación, servicios del edificio, subestructuras, refuerzo del concreto y mobiliario de la edificación.

De ahí que el presente trabajo presente las condiciones, indicadores y ventajas favorables que, en el marco de la sostenibilidad y el Desarrollo Sostenible, justifican y fundamentan el uso del acero en la industria de la construcción como material sostenible por sí mismo y adecuado para el desarrollo y desempeño de construcciones ecológicas durante su ciclo de vida completo.

— 2. SOSTENIBILIDAD Y CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE CON ACERO

El concepto y filosofía del Desarrollo Sostenible actual, sustentado exclusivamente en la preservación de la especie humana sobre la base del crecimiento y desarrollo socioeconómico respetuoso con el medio ambiente, fue presentado por primera vez en el año 1987 con el documento conocido como Informe Brundtland, *Nuestro Futuro Común* (UN, 1987). Éste desde sus inicios ha intentado servir de base para la organización y direccionamiento, a nivel local, regional, nacional o mundial, de los planes, programas y acciones tendientes a la consecución del bienestar humano en el marco del crecimiento y desarrollo social y económico, adecuada y eficientemente implementados, respetuoso y en abierta convivencia con el medioambiente (Montilla, 2010).

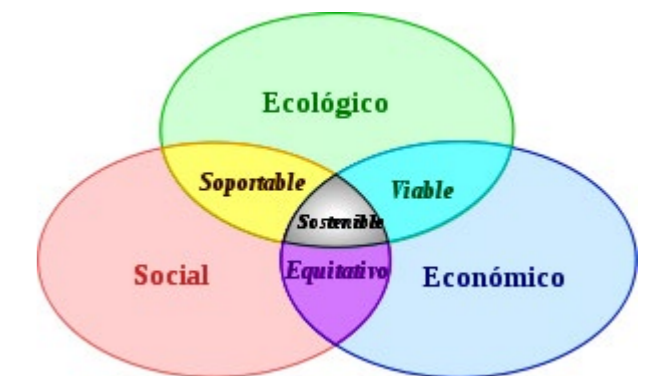
Como resultado a través del tiempo, es que el Desarrollo Sostenible se ha convertido en una filosofía que en los últimos años es la piedra angular del crecimiento y desarrollo de la humanidad. En este sentido, para el logro de los objetivos del Desarrollo Sostenible es determinante la integración de todas las dimensiones que intervienen en su concepción, las dimensiones sociocultural, económica y ecológica [Fig. 1].

El Informe Brundtland, como producto del trabajo de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas (UN, 1987), presenta de manera clara y precisa al mundo industrializado y económico la propuesta

de Desarrollo Sostenible en términos del uso racional y preservación de los recursos para el desarrollo y disfrute de las generaciones actuales y las futuras. Posteriormente la Cumbre de Río del año 1992, materializó el propósito fundamental de la humanidad por la lucha a favor de la protección y preservación medioambiental, mediante la Declaración de Río, que constituyó el preámbulo a la formulación de la Agenda 21 sobre la Construcción Sostenible en países en desarrollo (CIB, 1999 y 2002), la cual que aplica conceptos, propuestas y estrategias de sustentabilidad y desarrollo sustentable o sostenible fundamentados en criterios humanistas, en torno a la subsistencia y preservación del ser humano, en franca y abierta convivencia con su hábitat, el cual deberá ser diseñado y planificado con calidad de vida y con respeto al medio ambiente.

Desde la Cumbre de Río y la formulación de la Agenda 21, los criterios y estrategias de la sostenibilidad y el desarrollo sostenible han venido calando, de manera lenta, obligatoria e indetenible, en todos los planes, políticas, programas y proyectos que tienen que ver con el desarrollo económico y, en particular, con los programas de desarrollo referidos a la producción de viviendas.

Y es que la Agenda 21 dio inicio a otras agendas o iniciativas de carácter local o regional, con aplicación específica al sector construcción, como es el caso de la Agenda Habitat II, la cual fue



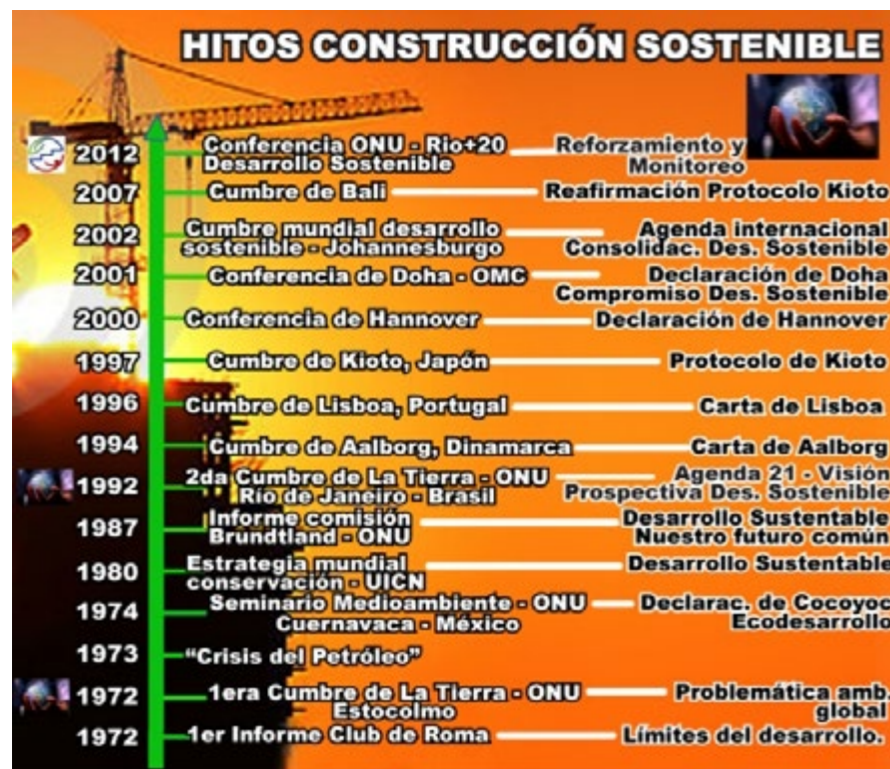
[Fig. 1] Las tres dimensiones del Desarrollo Sostenible. FUENTE: INFORME BRUNDTLAND (UN, 1987).

el resultado de la Conferencia de las Naciones Unidas de Estambul del año 1996 (Sjöström, 2010), así como, los Programas Marco Europeos para la Investigación y Desarrollo en construcción sostenible. Ambos ejemplos de iniciativas internacionales representan aportes interesantes y avances importantes en la concreción del propósito y razón primordial del Desarrollo Sostenible aplicado al sector de la construcción con criterios ecológicos en general y, en particular, de edificaciones sustentables con alto valor humano, social y de calidad de vida.

La industria de la construcción, por intermedio del Consejo Internacional para la Investigación e Innovación en la Construcción y Edificaciones, ha tomado parte protagónica y decisiva en las iniciativas y acciones tendientes hacia la construcción sustentable, como lo refleja el Congreso de la Construcción Mundial del año 1998 realizado en Gavié, Suecia. Este evento tuvo como conclusión y misión encomendada la necesidad de establecer

una Agenda sobre la Construcción Sustentable, acordada internacionalmente y de aplicación mundial, a los fines de facilitar la tarea de la implementación consensuada de la sostenibilidad en la industria de la construcción. Esto fue materializado en la Agenda 21.

Más recientemente, en la conferencia mundial de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible de Rio de Janeiro, Brasil, 2012, Rio+20 - *El futuro que queremos* (UN, 2012), hizo énfasis en aunar y redoblar esfuerzos para la materialización, seguimiento y progreso de los lineamientos y objetivos del Desarrollo Sostenible, incluida la Construcción Sostenible, para el mejoramiento tangible, eficiente y eficaz de las condiciones y calidad de vida de la población mundial, en reconocimiento que la gente es el centro de los objetivos, propósitos y razón del Desarrollo Sostenible. Otros hitos importantes para la industria de la construcción mostrados en la [Fig. 2], correspondientes a la última década, conjuntamente con los ya



[Fig. 2] Hitos notables de la Construcción Sostenible. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

comentados, han venido a significar la consolidación de los acuerdos y agendas internacionales, así como, el avance y desarrollo en materia de normativa, regulación y certificación medioambiental necesarios para la materialización efectiva del Desarrollo Sostenible en la industria de la construcción a nivel mundial.

La industria de la construcción, por su naturaleza y funcionalidad multidisciplinaria, así como, por su magnitud y manejo de recursos naturales, humanos y económicos, está ampliamente vinculada con los mayores impactos de las acciones humanas sobre el planeta y su Biósfera. Los impactos generados por la creciente actividad humana sobre la atmosfera, ecología, biodiversidad y los recursos naturales disponibles en nuestro planeta tierra demandan cada vez más claridad y mayor definición, precisión y cuantificación.

Este conocimiento es prioritario para facilitar la toma de las decisiones necesarias con miras al establecimiento de políticas y normativas, planes, programas y proyectos tendientes al manejo, prevención y/o mitigación de las probables amenazas o riesgos sobre la sociedad ocasionados por tales impactos. La sostenibilidad en la construcción de edificaciones o construcción sostenible fue definida por Charles Kibert en la Conferencia Internacional sobre Construcción Sustentable realizada en Tampa, Estados Unidos, como *la creación y planificación responsable de un ambiente construido saludable basado en la optimización de los recursos naturales disponibles y los principios ecológicos* (Kibert, 1994).

El ambiente construido, entendido como toda forma, espacio y estructura espacial manufacturada por el ser humano para su interrelación con el medio ambiente, representa el entorno más cercano y permanente que todo ser humano tiene cotidianamente a su alrededor, por lo que, las edificaciones que se construyan deben estar apegadas, lo más cercanamente posible, a los fundamentos y objetivos del Desarrollo Sostenible. La dimensión ambiental debe estar integrada holísticamente con las otras dimensiones, en la que, precisamente, no escapa el ambiente construido, constituido por las edificaciones existentes

y demás obras de infraestructura, equipamiento y servicio, incluido su impacto ambiental (Montilla, 2010). Esto es absolutamente válido y vigente durante el ciclo de vida completo de las construcciones [Fig. 3].

En este sentido, los materiales de construcción juegan un rol muy importante en el desempeño ambiental de las obras de construcción en general, por lo que, al considerar el acero como material de construcción y a las estructuras metálicas derivadas, necesariamente, se deben tomar en cuenta sus grandes cualidades sostenibles, estables y permanentes durante todo su ciclo de vida, que lo hacen un material ideal al momento del diseño y construcción de edificaciones ecológicas. En este sentido, son innumerables los trabajos presentados e investigaciones realizadas con miras a exaltar las grandes virtudes del acero como material de construcción sostenible, que entre muchos otros podemos citar a Widman (2005), ALACERO (2008), ArcelorMittal (2013), Gervasio (2008, 2009), Yellishetty *et al.* (2011), SRI (2013) y World Steel Association (2012; 2013a,b).

Se puede decir que la construcción sostenible no es más que la integración de la sostenibilidad en la construcción del hábitat humano, donde está implícito el análisis de todo el ciclo de vida de las edificaciones, desde su diseño arquitectónico y obtención de las materias primas requeridas para su construcción, su vida útil y funcionalidad, incluidos posibles cambios de uso, hasta que llega al final de su vida, donde se convierte en materiales de re uso, reciclables o de desecho (Montilla, 2010), [Fig. 3].

2.1. SOSTENIBILIDAD DEL ACERO

Para que un material de construcción sea ecológico debe cumplir o aproximarse lo más cercanamente posible a los principios y preceptos de la sostenibilidad y la construcción sostenible. El acero posee grandes virtudes ambientales que están directamente relacionadas con sus grandes fortalezas como material de construcción, en especial, por su alta reciclabilidad, gran resistencia, potencial de desmontaje, adaptabilidad y re uso y,



[Fig. 3] Ciclo de vida de la edificación y los respectivos impactos ambientales generados en cada etapa.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE <http://www.emsd.gov.hk>.

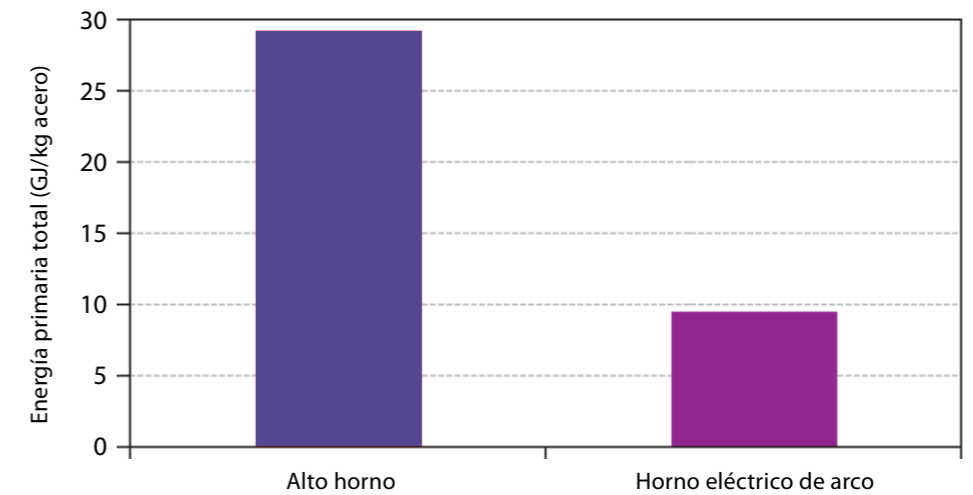
finalmente, por su gran calidad y durabilidad. el grado de reciclaje del acero es casi infinito, sin pérdida aparente de calidad y durabilidad. Sin embargo, la reciclabilidad de este material está condicionada por la técnica industrializada empleada en su producción.

2.1.1. PROCESOS DE PRODUCCIÓN DEL ACERO

Actualmente existen básicamente dos (2) procesos tradicionales de producción de acero a nivel industrial, el primero y más antiguo, a partir de materias primas naturales, mineral de hierro, caliza y coque, de acería al oxígeno o de combustión de oxígeno al aire libre, proceso denominado de Alto Horno o BOF (Basic Oxygen Furnace), y un segundo proceso, que utiliza una técnica más novedosa, el Horno de Arco Eléctrico, EAF (Electric Arc Furnace)

[Fig. 4]. El acero puede obtenerse a partir de dos materias primas fundamentales, el arrabio, obtenido a partir de mineral y mediante un proceso de alto horno, proceso integral, y las chatarras, tanto férricas como inoxidable. El tipo de materia prima condiciona el proceso de fabricación del acero. En general, para fabricarlo a partir de arrabio se utiliza el convertidor con oxígeno o BOF, mientras que partiendo de chatarra, como única materia prima, se utiliza exclusivamente el Horno de Arco Eléctrico, EAF, proceso electro-siderúrgico (Medina, 2006).

Los procesos de producción de Acero-EAF pueden usar un 100% de chatarra metálica como materia primaria, sin embargo, las estadísticas mundiales muestran que actualmente se utiliza un porcentaje aproximado de 85 % de chatarra como materia prima para la elaboración de acero con este proceso (Medina, 2006). Esto, en el caso del



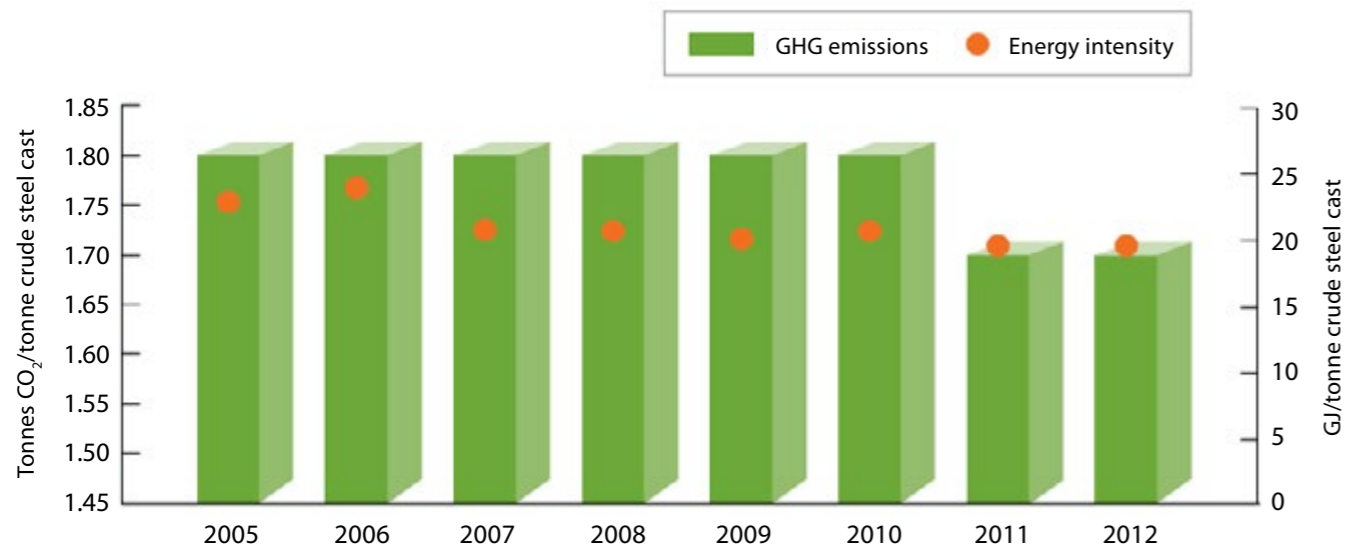
[Fig. 4] Energía consumida por cada proceso de producción de Acero Laminado.
FUENTE: GERVASIO (2009).

proceso BOF, está limitado, ya que sólo se puede utilizar entre el 25 % y el 30 % de chatarra o acero reciclado en el proceso (Gervasio, 2009). Adicionalmente, ambos procesos usan carbón mineral como material combustible, sin embargo, el proceso EAF puede incorporar una parte de gas natural como combustible, disminuyendo así, el uso del carbón mineral, lo que no se puede hacer con el proceso BOF.

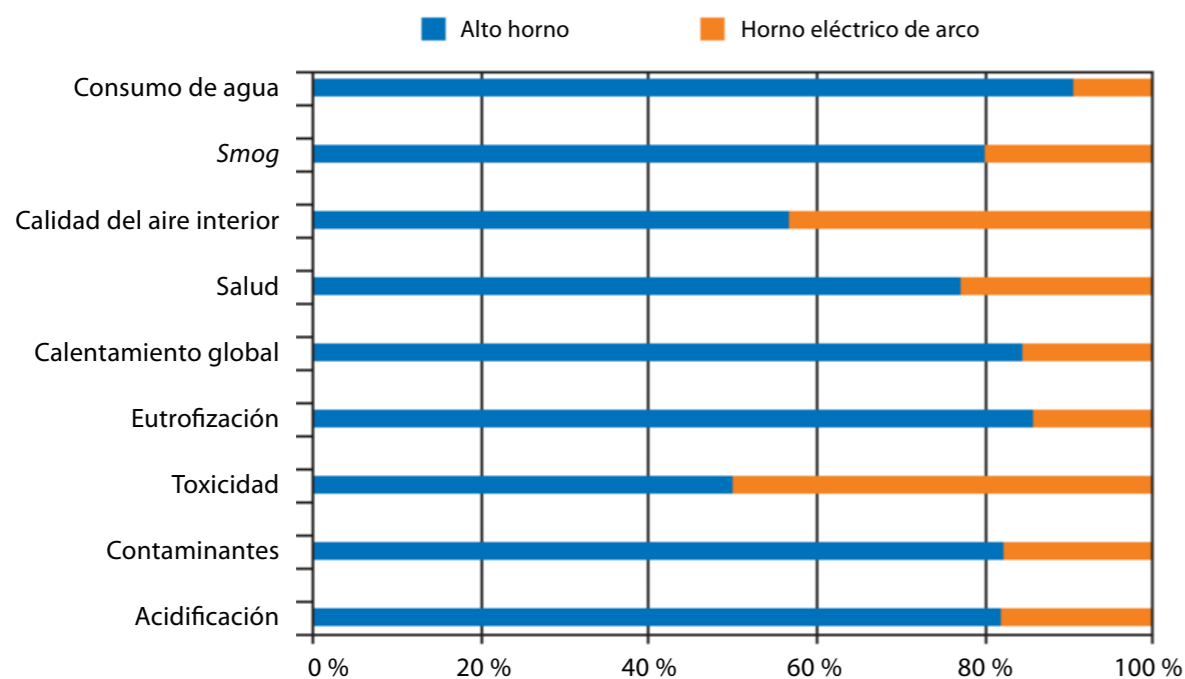
Además, es importante señalar que con el proceso EAF se tiene una reducción importante en el consumo de energía por tonelada de acero primario producido; por ejemplo, para la fabricación de Perfiles Laminados, para el año 2009, el consumo de energía mediante el proceso de Alto Horno (BOF) era de aproximadamente 29,0 Giga joules por tonelada (GJ/ton), mientras que con el proceso de Horno de Arco Eléctrico (EAF) se requiere de aproximadamente 10,0 GJ/ton **[Fig. 4]** (Gervasio, 2009). En la **[Fig. 5]** se puede apreciar, de manera comparativa, los mayores impactos ambientales generados y su cuantificación porcentual por cada proceso de producción. Sin embargo, tal como lo refleja la **[Fig. 6]**, la tendencia mundial en el marco del desarrollo sostenible es la reducir el consumo de energía por tonelada de acero crudo producido

Las características y ventajas anteriormente señaladas del proceso EAF lo convierten en el proceso de fabricación más eficiente y conveniente desde el punto de vista ecológico. Un dato importante, es el hecho que para el año 1995 el 59 % del porcentaje mundial de industrias de Acero utilizaba el proceso convertidor con oxígeno o alto horno, BOF, mientras que sólo el 33 % utilizaba el proceso de arco eléctrico, EAF, situación que viene a representar una debilidad significativa para que el Acero tienda a alcanzar una condición óptima desde el punto de vista de la sostenibilidad.

Es clave enfatizar, desde la perspectiva ecológica, la importancia del uso de material reciclado o chatarra como materia prima en el proceso de producción del acero. Esta estrategia, desde sus inicios, ha dado muy buenos resultados, por cuanto por cada tonelada de acero reciclado que se utiliza se ahorra 1,25 toneladas de mineral de hierro, 630 kg. de carbón y 54 kg de caliza (Gervasio, 2009). A esto se agrega la disminución en consumo de energía y de emisiones al aire que se logra cuando se incrementa el uso del acero reciclado.



[Fig. 5] Impactos ambientales generados por la producción de acero por proceso de producción. FUENTE: GERVASIO (2009).



[Fig. 6] Consumo de energía y generación de gases efecto invernadero (GHG-CO₂) por la producción consolidada de Acero a nivel mundial. FUENTE: WORLD STEEL ASSOCIATION, 2013A.

2.1.2. IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR LA PRODUCCIÓN DEL ACERO. INDICADORES MUNDIALES

La construcción con acero, al igual que muchas otras actividades industriales, presenta deficiencias o problemas ecológicos relacionados de manera directa con la sostenibilidad, los cuales representan serios desafíos para esta industria, cuya solución redundará en un mejor desempeño ambiental de las industrias del acero y de la construcción. Entre los problemas más resaltantes están: la energía incorporada en la producción del material, energía operacional, transportes, materias primas y agua, emisiones, reciclado y re uso, residuos y uso de la tierra y ambiente interior.

La gran mayoría de los impactos importantes producidos por la producción y transporte del acero están representados por los residuos y emisiones a la atmosfera de gases efecto invernadero (GHG), constituidos por Vapor de Agua (H₂O), Dióxido de Carbono (CO₂), Dióxido Nitroso (NO₂) y Dióxido Sulfuroso (SO₂) y partículas de polvo, siendo el de mayor incidencia el CO₂, el cual, durante el ciclo de vida completo de las estructuras de acero puede alcanzar hasta un 98 % del total de las emisiones al aire (Widman, 2005). En la [Fig. 5], se pueden apreciar los principales impactos ambientales generados por la producción de este material para los dos (2) procesos industrializados tradicionales. En la [Fig. 6] se muestra la tendencia mundial hacia la disminución en el consumo de energía y la generación de los gases efecto invernadero (GHG-CO₂) en la producción consolidada de acero crudo a nivel mundial, donde se puede apreciar, de manera evidente, los resultados positivos de los esfuerzos que ha venido haciendo la industria del acero a nivel mundial con relación a estos dos importantes factores ambientales.

Desde el año 1975, tomando en consideración la producción de los países tope de la producción mundial, las mejoras en la eficiencia en el consumo de energía han conducido a una reducción acumulada importante cercana al 50 % en la energía requerida para producir una tonelada de acero

crudo. A esto se agrega, las mejoras en la eficiencia de la energía implementadas al incorporar el uso de las más grandes tecnologías estado del arte en la producción de acero (de Carvalho, 2010).

Todos los efectos e impactos ambientales mostrados anteriormente son significativos para el mantenimiento del equilibrio ecológico, preservación de la salud, bienestar, calidad de vida y, a más largo plazo, la subsistencia de la especie humana misma. En la actualidad, los impactos ambientales más severos y apreciables tienen que ver con el calentamiento global, contaminación, toxicidad y polución, del agua y la atmosfera, disminución de la capa de ozono y disminución de los recursos naturales.

Finalmente, en el [Cuadro 1] se presenta un resumen de los indicadores promedio de sostenibilidad de la producción consolidada de acero a nivel mundial, en la que se pueden observar los impactos ambientales generados por la producción mundial consolidada de acero crudo, en el período comprendido entre los años 2007 y 2012, con relación a emisiones de gases efecto invernadero (GHG), expresado en términos de emisiones de CO₂, y consumo de energía. Asimismo, los indicadores mostrados permiten evidenciar y justificar la sostenibilidad de este material siderúrgico en las tres dimensiones del Desarrollo Sostenible. Del análisis de los indicadores mostrados, es importante destacar el incremento paulatino en los Sistemas de Manejo Ambiental (EMS) - Sistemas de Gestión Ambiental (SGA) y en la inversión en nuevos procesos y productos, factores que necesaria e ineludiblemente redundan en una mayor eficiencia y desempeño ambiental de la industria de la producción del acero a nivel mundial y, por supuesto, en su mayor aproximación al cumplimiento y satisfacción de los fundamentos, propósitos y razón del Desarrollo Sostenible.

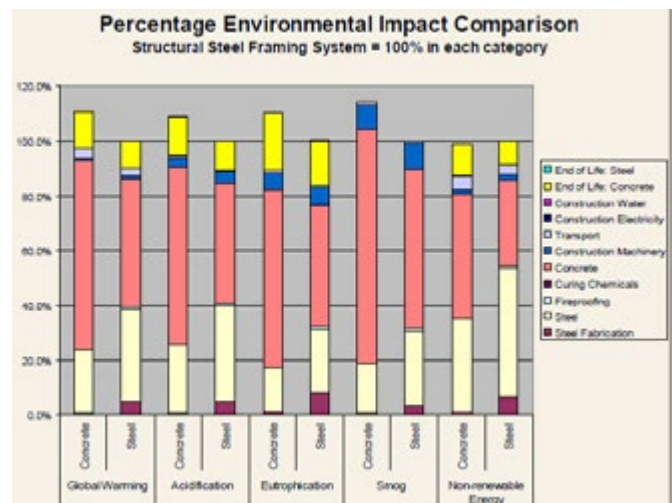
A modo de ilustración, en la [Fig. 7] se muestra la comparación entre los impactos ambientales más importantes generados por las dos técnicas constructivas más tradicionales y usuales en el mundo moderno, por cada fase o proceso de construcción clave, la construcción con concreto

[Cuadro 1]

Indicadores promedio de la producción mundial consolidada de acero, período 2007-2012.

FUENTE: WORLD STEEL ASSOCIATION (2013 A).

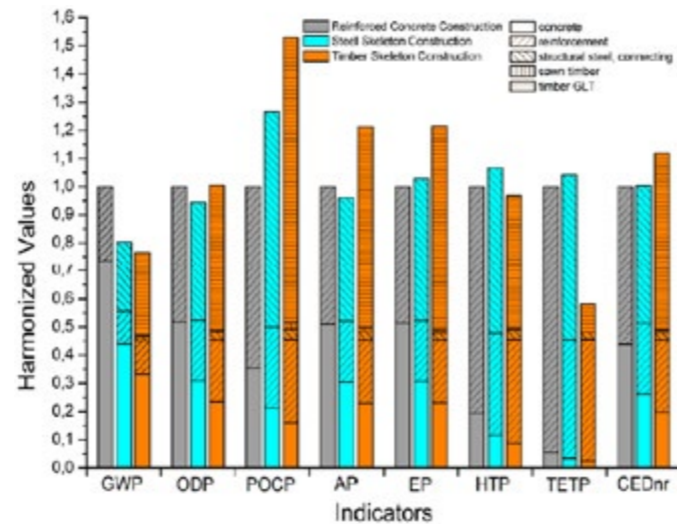
Indicador	Unit	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
Environmental sustainability								
1	Greenhouse-gas emissions	Tonnes CO ₂ /tonne crude steel cast	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7 [#]
2	Energy intensity	GJ/tonne crude steel cast	20.8	20.8	20.1	20.7	19.6	19.6 [#]
3	Material efficiency	Percentage of material converted to products and by-products	97.9	98.0	97.9	97.7	94.4	96.4
4	Environmental management systems (EMS)	Percentage of employees and contractors in EMS-registered production facilities	85.1	86.6	89.0	88.5	89.9	89.3
Social sustainability								
5	Lost time injury frequency rate	Injuries/million hours worked	4.5	3.1	2.5	2.3	1.9	1.6
6	Employee training	Training days/employee	11.1	8.0	8.5	6.7	7.7	8.1
Economic sustainability								
7	Investment in new processes and products	Percentage of revenue	7.9	8.3	10.2	8.8	8.3	10.4
8	Economic value distributed	Billion US\$	323.8	308.3	470.7	477.0	617.9	642.8
		Percentage of revenue	83.0	68.2	92.3	91.7	93.1	97.4



[Fig. 7]

Comparación entre impactos ambientales generados por la construcción con concreto armado y con acero estructural; Comparación del desempeño ambiental entre las tres técnicas de construcción tradicional.

FUENTE: WEISENBERGER Y CROSS (2012); PASSER ET. AL. (2007).



armado y la construcción con acero (Weisenberger y Cross, 2012). Puede observarse que en casi todos los renglones de impacto ambiental, en los más relevantes, la construcción con concreto supera a la de acero. Asimismo, en la misma figura, se presenta una comparación entre los valores normalizados de los impactos ambientales y desempeño ambiental evaluados por Passer *et al.* (2007) para un sistema estructural de tres (3) edificaciones, utilizando las tres técnicas constructivas tradicionales como el concreto reforzado, acero y madera, durante el ciclo de vida del sistema estructural de la edificación, para evidenciar que los tres (3) sistemas de construcción tradicional, en cuanto al sistema estructural se refiere, muestran resultados de desempeño ambiental bastante similares entre sí, aún cuando su valoración difiere en algunos indicadores. Sin embargo, la tendencia a la dominancia de los impactos generados por el concreto reforzado con relación al acero es clara en varios de los indicadores evaluados.

2.2.

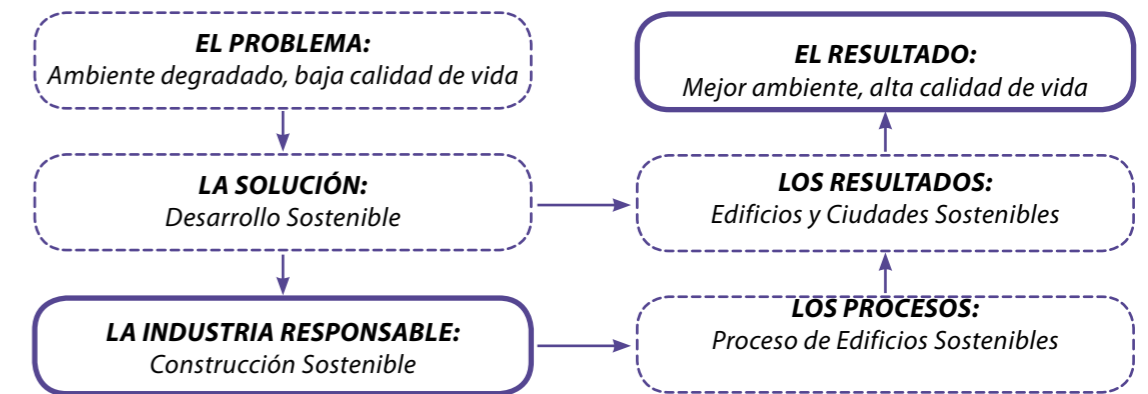
CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE CON ACERO-ESTRUCTURAS DE ACERO

Los impactos ambientales causados por la industria de la construcción en el desarrollo del ambiente construido pueden ser minimizados, y el desarrollo e innovación tecnológica puede ser utilizado para remediar o mitigar los efectos o

daños causados al ambiente por tales impactos. La construcción sostenible es la respuesta del sector construcción al reto del Desarrollo Sostenible (Huovila y Koskela, 1998), cuyo planteamiento filosófico resumido fue presentado por Bourdeau *et al.* (1998) **[Fig. 8]**.

Antes, en la I Conferencia Internacional sobre Construcción Sostenible, realizada en Tampa, Florida, USA, donde participa Charles Kibert (1994) e introduce una primera definición típica sobre Construcción Sostenible, que estableció como la creación de un ambiente construido saludable usando eficiencia de recursos y principios basados en lo ecológico. Asimismo, propuso algunos principios para la Construcción Sostenible tales como, conservar, reusar, renovar o reciclar, proteger la naturaleza, uso de no tóxicos, economía y calidad. Más recientemente, el mismo Kibert (2007), sugirió una definición mejorada de este tipo de construcción, la cual propuso como la contribución de la industria de la construcción junto con su producto, el ambiente construido, entre muchos otros sectores de la economía y la actividad humana, a la sostenibilidad de la tierra, incluyendo sus habitantes humanos y no humanos.

La industria de la construcción es una de las que más demanda uso de recursos y energía en el mundo altamente tecnológico e industrializado actual, también una de las industrias que más desechos genera, de hecho, según la Asociación



[Fig. 8]

Esquema de ruta simplificado para la Construcción Sostenible.

FUENTE: BOURDEAU *et al.* (1998).

Mundial del Acero (World Steel Association, 2012), organismo que agrupa a los productores de alrededor del 85 % de la producción mundial de acero, más de la mitad, cerca del 51,2 %, del total de la producción mundial de acero es utilizado por el sector construcción [Fig. 9]. No obstante, la humanidad necesita y demanda las actividades de construcción para sostener el crecimiento y desarrollo de la civilización (Bakhtar *et al.*, 2008).

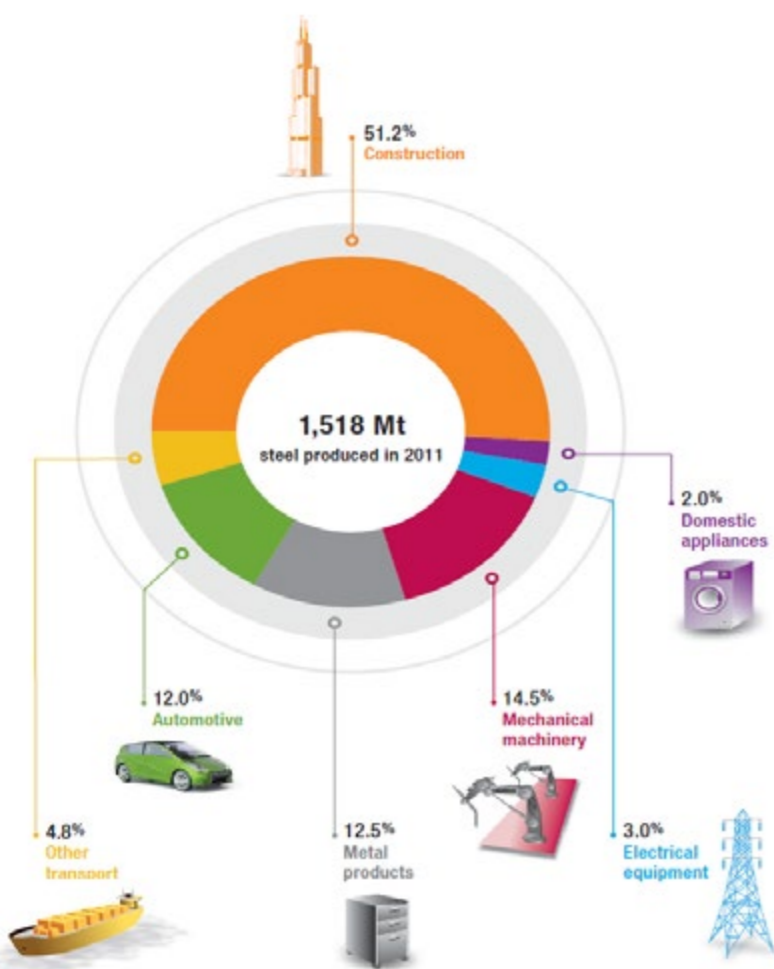
Desde la perspectiva de la sostenibilidad y los objetivos de la construcción sostenible, la industria del acero reconoce y valora la interdependencia de los avances ambientales, sociales y económicos, objetivos que son mejor alcanzados por medio de forzar al mercado a operar en un marco

regulatorio de crecimiento orientado (SRI, 2013). En este contexto, los factores e indicadores ecológicos, económicos y sociales mostrados por destacados y reconocidos investigadores y representantes de la industria de la construcción de edificaciones con acero, entre ellas las viviendas, la acreditan como una solución constructiva viable y de consideración al momento de diseñar con principios y fundamentos de la construcción sostenible (ALACERO, 2008). Desde el punto de vista de la sostenibilidad, en la práctica promedio de la industria de la construcción moderna de hoy día, el acero ofrece ventajas significativas (Widman, 2005):

- **Eficiencia del material.** Resulta en menos uso de recursos naturales, menos transporte, menos emisiones y menos uso de energía.
- **Ultra-alta reciclabilidad.** Resulta en menos uso de recursos naturales, menos consumo de energía, menos residuos y menos emisiones.
- **Calidad y durabilidad.** Resulta muy favorable para la sostenibilidad.
- **Construcción seca y limpia, libre de grasas e impurezas.** Resulta en menos amenazas para la salud, menos residuos, menos uso de energía, menos emisiones y en un mejor ambiente de trabajo.

Estas ventajas del acero se adaptan perfectamente a los principios fundamentales establecidos por la Agenda Hábitat y el Anexo A21 de la Agenda 21, publicados por el Consejo Internacional para la Investigación e Innovación en Construcción y Edificación (CIB, 1999), para la Construcción Sostenible, aplicables a la industria de la construcción con acero, los cuales son:

- Maximización del reuso de recursos.
- Minimización del consumo de recursos.
- Uso de recursos renovables y reciclables.
- Protección del ambiente natural.
- Creación de un ambiente construido no tóxico y saludable.
- Creación de ambientes construidos de calidad.



[Fig. 9] Distribución porcentual de la producción mundial de acero por sector industrial.

FUENTE: WORLD STEEL ASSOCIATION, 2012.

La industria de la construcción con acero, de manera permanente y progresiva, ha venido resaltando los grandes atributos y ventajas que posee la utilización del mismo en la construcción de edificaciones sostenibles, lo que ha sido impulsado y fortalecido por una política mundial acordada por los fabricantes de acero para tratar de sumar esfuerzos e inversiones con miras a consolidar a este material como una opción viable, segura, estable y confiable para la consecución de edificaciones sostenibles con alto grado de responsabilidad y desempeño medioambiental y, por ende, con alta eficiencia y apego a los principios y propósitos del Desarrollo Sostenible en el mundo altamente industrializado y globalizado actual.

Prueba de ello, ha sido que en los últimos tiempos las más grandes obras de ingeniería de la humanidad, especialmente las que requieren de una elevada gerencia y capacidad de desarrollo en el corto plazo, se han realizado con alta incorporación de acero [Fig. 10]. Las mayores ventajas y

atributos mostrados por el uso del acero en la construcción se presentan en el [Cuadro 2], la mayoría aplicables a casi todas las construcciones, con algunas excepciones de estructuras abiertas, debido a diferencias apreciables en cuanto a su funcionalidad (Widham, 2005). En la [Fig. 11] se presenta en forma esquemática un resumen sobre las ventajas de la construcción con acero en cada fase de la vida de una edificación.

Finalmente, para la promoción de la práctica de la Construcción Sostenible es imprescindible la toma de decisiones, así como la selección de los indicadores más adecuados y realistas para la medición del nivel de desempeño y efectividad de constructores y de las metodologías aplicadas para alcanzar los principios y objetivos del Desarrollo Sostenible. En este sentido, es importante resaltar que la promoción de la práctica de este tipo de construcción debe ser prioridad para todos los actores en la industria de la construcción interesados en satisfacer los requerimientos del Desarrollo Sostenible (Bakhtar *et al.*, 2008).



[Fig. 10] Construcción con acero del Estadio Olímpico de Londres 2012. FUENTE: COMPOSICIÓN A PARTIR DE <http://www.Flickr.com/photos/egfocus>.

[Cuadro 2]

Atributos y ventajas de la Construcción Sostenible con acero.

FUENTE: ADAPTADA DE WIDHAM, 2005.

ATRIBUTO/VENTAJA	COMENTARIO SOBRE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE CON ACERO
✓ Usabilidad/ Adaptabilidad	La construcción con acero es prefabricada en procesos de fábrica eficientes, con uso mínimo de recursos, posibilidad de lograr grandes tramos y edificios flexibles, dúctiles y de gran altura. Creación de espacios flexibles y adaptables a los cambios.
✓ Rapidez	Las estructuras de acero son instaladas rápidamente en el sitio de la obra, reduciendo la interrupción de las demás actividades. La rapidez y facilidad de instalación permite el diseño para el desmontaje, reciclado y reuso de los componentes de la estructura.
✓ Peso	Las estructuras de acero son livianas y, por lo tanto, eficientes en el uso de materiales, energía, transporte y emisiones al ambiente. El bajo peso también posibilita su extensión, horizontal y vertical de las edificaciones, así como su posible ubicación opcional.
✓ Desechos/Residuos	La construcción con acero es muy eficiente en el uso del material, generando baja cantidad de residuos. La gran mayoría de los residuos pueden ser reciclados.
✓ Desempeño	El acero, producido con tecnología computarizada moderna, es un material de gran resistencia y alto desempeño, los componentes se ajustan dimensionalmente, material maleable y dúctil. Las estructuras de acero, adecuadamente diseñadas, por su alta ductilidad y resistencia, presentan un excelente comportamiento ante terremotos.
✓ Logística	Las estructuras de acero son trasladadas al sitio de la obra justo a tiempo para su instalación, y pueden ser producidas localmente, minimizando el consumo de energía e impactos por transporte.
✓ Durabilidad/Calidad	Las estructuras de acero tienen larga vida útil de diseño, manteniendo su alta calidad con el paso del tiempo. Adecuadamente construidas, requieren de mantenimiento mínimo, bajos impactos ambientales.
✓ Salud	La construcción con acero es construcción seca y limpia, usa materiales de baja emisión, ejecutada con procesos controlados y seguros y tiende a mantener arquitectura de alta calidad.
✓ Reciclabilidad	El acero es un material totalmente reciclable, sin pérdida apreciable de calidad y resistencia. El acero producido actualmente tiene incorporado un contenido de acero reciclado.
✓ Reusabilidad	Las estructuras y componentes de acero, adecuadamente instalados y convenientemente instalados, pueden ser desmantelados o desmontados y reusados. Esto facilita el diseño repetido y la optimización del uso, ahorro de recursos, dinero y ganancia importante de sostenibilidad.



[Fig. 11] Ventajas de la construcción con acero en cada fase de la vida de una edificación. FUENTE: <http://www.constructalia.com>.

3. PERSPECTIVAS, DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES DEL SECTOR ACERO

3.1. REFERIDO A LA INDUSTRIA PRODUCTORA DEL ACERO

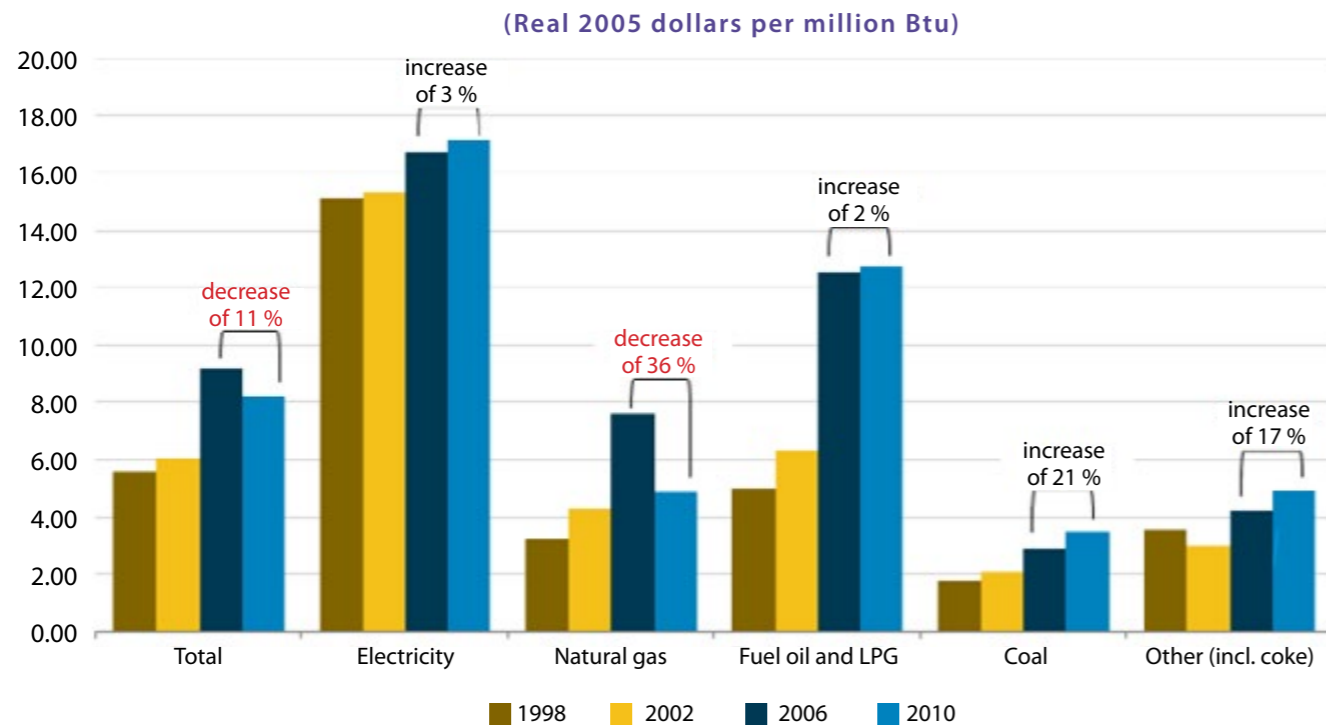
La industria del acero, dependiendo de la localidad, región o país y de las limitaciones y complejidades propias de la industria de cada una de esas localidades, así como, de las políticas, planes, programas y gobernanza que cada Estado haya impuesto a su propia economía y desarrollo industrial, por sus características, complejidad y amplio espectro de aplicación, tendrá muy variados y específicos problemas ambientales, económicos, normativos y sociales. En esta sección se tratará sobre el efecto de estos aspectos que, en el contexto de la sostenibilidad y de manera global, recurrente y presente en la totalidad de la industria, plantean o constituyen perspectivas, tendencias y desafíos para la consolidación de la industria de la producción de acero como industria sostenible. Con estos principios y objetivos se plantean las siguientes tendencias y perspectivas:

- **Desempeño Ambiental - emisiones de gases efecto invernadero (GHG) e intensidad de energía.** Del análisis del reporte sobre *Acero Sostenible*, políticas e indicadores, publicado por la Asociación Mundial del Acero en el año 2013 (World Steel Association, 2013a) [Fig. 7], se concluye que hay un fuerte grado de correlación entre emisiones de efecto invernadero a la atmosfera e intensidad de energía consumida por la industria de la producción de acero. Es así, como en la medida en que la intensidad de energía consumida disminuye, también disminuye la emisión de CO₂ a la atmosfera. Esto constituye uno de los mayores retos de la industria del acero y está fuertemente ligado a la cantidad de carbón utilizada para la reducción del mineral de hierro, especialmente en el proceso de producción de acero en alto horno. En los procesos modernos de producción de acero estas emisiones están muy cercanas a su valor mínimo teórico,

sin embargo, actualmente en la industria de elaboración de éste, comercialmente y en gran escala, no hay disponible un sustituto del carbón. Adicionalmente, desde el punto de vista económico, dado que el costo de la energía es el rubro de mayor peso dentro del proceso, el carbón sigue siendo una de las fuentes de energía más económicas y con mayor disponibilidad a nivel mundial [Fig. 9] (Bell, 2014). En este sentido, el Consejo Laplace del Comité del Acero de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OECD) plantea que parte de la solución a los retos de eficiencia en la producción y en la reducción de las emisiones de CO₂ y polución de aire por parte de la industria del acero es tecnológica, incluida la innovación, reemplazando parte del mineral de hierro con el uso de chatarra reciclada y parte del carbón con gas natural (OECD, 2012 y 2013).

En cuanto al consumo de energía, estudios comparativos realizados han demostrado que, en el período de los últimos 30 años, las grandes potencias mundiales fabricantes de acero, Norte America, Japón, Europa, entre otras, han reducido cerca del 50 % del consumo de energía por tonelada de acero producido, lo que demuestra que las tecnologías de producción de este material ya son bastante eficientes (De Carvalho, 2010 y World Steel Association, 2013a). No obstante, esto no ocurre en todas las industrias que elaboran acero a nivel mundial, por lo que, pueden seguirse creando nuevas o implementando mejoras a los procesos de producción en la búsqueda de la eficiencia y mejor desempeño ambiental de la industria.

La industria viene siendo presionada a explorar nuevas posibilidades y alternativas tecnológicas para alcanzar una mayor reducción en las emisiones de CO₂ y en consumo de energía. En este sentido, la Asociación Mundial del Acero (World Steel Association) ha impulsado varios programas e iniciativas tendientes al logro de estos dos objetivos, a saber: **1.** Programa avance en CO₂ (CO₂ breakthrough), el cual



[Fig. 12] Costos de la energía en los Estados Unidos al año 2005. FUENTE: BELL (2014).

fue iniciado en el año 2003 para intercambiar información sobre tecnologías de producción libre de carbón; **2.** Programa de recolección de datos sobre emisiones de CO₂, establecido en el año 2008; **3.** Programa de reconocimiento de la acción climática, lanzado en el año 2009; **4.** Desarrollo de una metodología común para la medición de las emisiones de CO₂ en las plantas de acero, publicado en el año 2013 como una norma internacional, ISO 14.404:2013, que tiene por título “Método de Cálculo de la Intensidad de Emisión de Dióxido de Carbono de la Industria del Hierro y del Acero” (World Steel Association, 2013a). En el caso de Europa, a corto y mediano plazo, se esperan mejoras incrementales en la industria en términos de la eficiencia de energía. Las tecnologías usadas actualmente están experimentando mejoras significativas y las plantas que usan las mejores tecnologías están ya operando cercanas a sus límites termodinámicos. Esto indica que todavía hay

algunas áreas donde podrían lograrse tantas mejoras como para hacer la industria más resiliente a los costos de energía (EC, 2013).

- **Estrategias y soluciones innovadoras para la mejora de productos derivados del acero.** Una iniciativa interesante para la reducción de las emisiones de CO₂ es el desarrollo e implementación de estrategias y soluciones innovadoras que reduzcan las emisiones de gases efecto invernadero durante el ciclo de vida de los productos de acero.
- **Producción de aceros de alta resistencia.** La producción de aceros de alta resistencia es otra de las estrategias importantes para la reducción de las emisiones. Se producen aceros más eficientes mecánica y ambientalmente al reducir el peso de los elementos, reduciendo la cantidad de material de acero utilizado. En el caso del consumo de combustible de los carros, esto puede llegar a significar una reducción de hasta un 70 % en la emisión de gases de efecto invernadero durante el ciclo

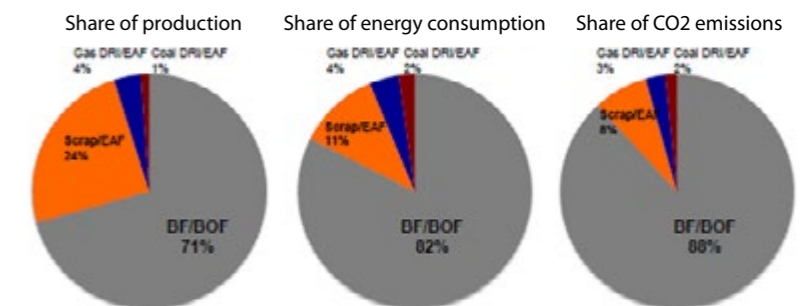
de vida completo del vehículo. Actualmente se producen aceros más sofisticados con tres o cuatro veces más resistencia que los de hace 40 años atrás. La corrosión es prevenida gracias a técnicas de recubrimiento avanzadas rentables (OECD, 2012).

- **Renovación y/o modernización del parque industrial.** Otra estrategia importante es la renovación y/o modernización del parque industrial en las plantas procesadoras de acero. La implementación y puesta en servicio de tecnologías de producción más avanzadas, a pesar de la gran inversión que ha hecho la industria en las últimas décadas, los nuevos y más innovadores procesos han provocado que los límites tecnológicos se hayan alcanzado o se hayan hecho económicamente difíciles de sobrellevar para la industria productora de acero (OECD, 2012). En los últimos años, la tecnología en los procesos y la productividad han sido considerablemente incrementadas, al punto que el número de horas requeridas para producir una tonelada de acero ha sido dividido por ocho (8) (OECD, 2012). Actualmente, todavía un 71 % de la producción mundial de acero se realiza mediante el proceso integrado BF/BOF que consume mayor energía, 82 % de la energía total de producción, y libera mas gases efecto invernadero, 88 % del proceso de producción, que los modernos procesos integrados DRI/EAF (OECD, 2013) [Fig. 13].
- **Desempeño Ambiental - eficiencia del material.** El objetivo a alcanzar es cero residuos. Existen residuos o desperdicios debido a la propia producción del acero o a la elaboración y/o utilización de productos o subproductos. La eficiencia en la utilización de productos y subproductos se puede lograr con la producción de una gran y variada gama de productos y subproductos, cuya adaptabilidad a las necesidades de los usuarios sea lo más optima posible. En los últimos años, desde el año 2012, se ha logrado una eficiencia cercana al 96% (World Steel Association, 2013a). Al comparar en cifras, la gran producción mundial

con el porcentaje de residuos, se llega a la conclusión que el desperdicio o residuos de material es un valor muy pequeño, pero que todavía se pueden impulsar acciones o estrategias para reducirlo.

- **Desempeño Ambiental - Sistemas de Gestión Ambiental (SGM).** Es indudable y reconocido mundialmente que los sistemas de manejo ambiental contribuyen favorablemente al mejoramiento del desempeño ambiental y de la eficiencia operacional de las industrias, por lo que, la industria del acero no podría ser una excepción. Actualmente, la gran mayoría de las empresas procesadoras de acero en el mundo están aplicando y se encuentran enmarcadas en los SGM. La [Fig. 14] muestra el comportamiento con relación a eficiencia de material e implementación de sistemas de gestión ambiental de la industria de la producción del acero en los últimos 10 años (World Steel Association, 2013a). Puede observarse claramente la tendencia a que el porcentaje de plantas procesadoras de acero con SGM va en incremento año tras año. Es notable que, para el año 2012, el número de plantas procesadoras de acero con SGM este muy cercano al 90 % y que el 100 % de ellas cuentan con su correspondiente certificación.

The integrated sector (BF/BOF) represents 71 % of world production, 82 % of energy and 88 % of CO₂

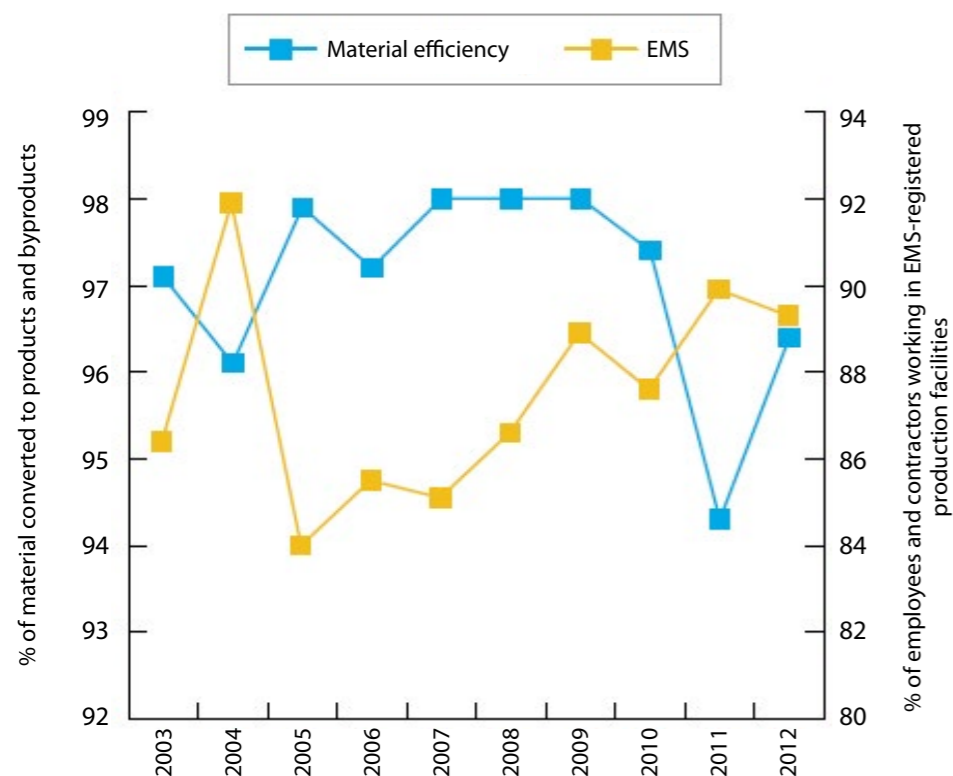


[Fig. 13] Consumo de energía y emisiones de CO₂ de la producción mundial de Acero con el proceso integrado BF/BOF. FUENTE: OECD (2013).

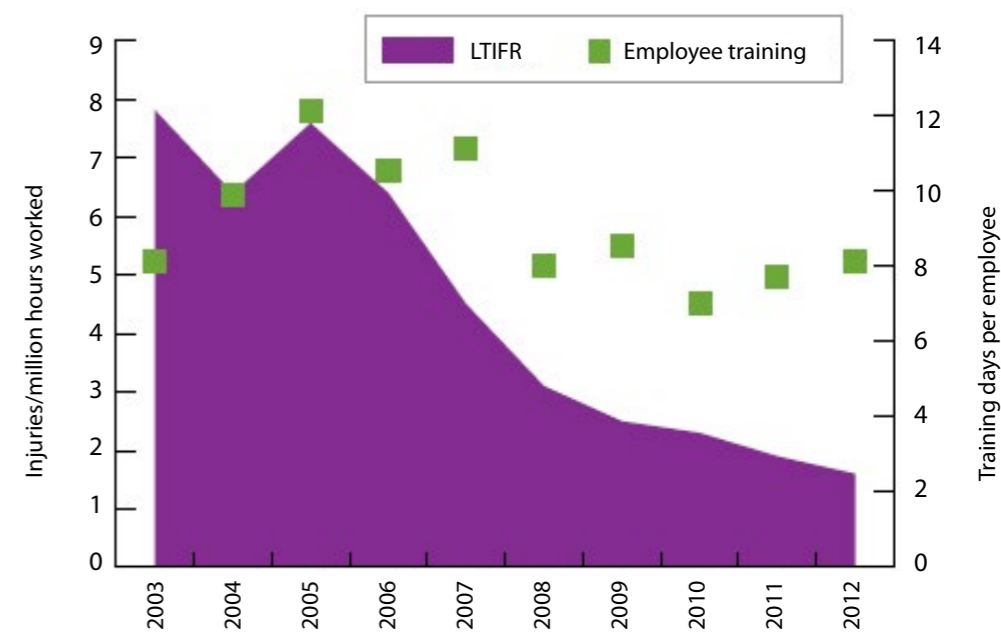
- **Desempeño Social – relaciones sociales empresa – trabajadores.** Este aspecto es primordial para la sostenibilidad de la industria productora del acero. Es necesario que las relaciones sociales empresa-trabajadores sean fluidas, cordiales y en constante revisión y mejoramiento para reducir la confrontación, compartir las decisiones y allanar la gran desigualdad en la pirámide jerárquica para el logro de mejores y más empoderados trabajadores (OECD, 2012).
- **Desempeño Social – tasa de tiempo perdido por frecuencia de accidentes.** La preservación de la vida y la salud de los empleados es asunto fundamental para la sostenibilidad. La [Fig. 15] muestra como la industria del acero ha venido mejorando sustancial y constantemente su desempeño social en cuanto a seguridad y salud de sus trabajadores. Esto se ha alcanzado con la producción y divulgación de

manuales de normas y procedimientos tendientes a crear las reglamentaciones, procedimientos y condiciones laborales optimas para crear un ambiente de trabajo seguro y saludable para todos los trabajadores y contratistas de la industria.

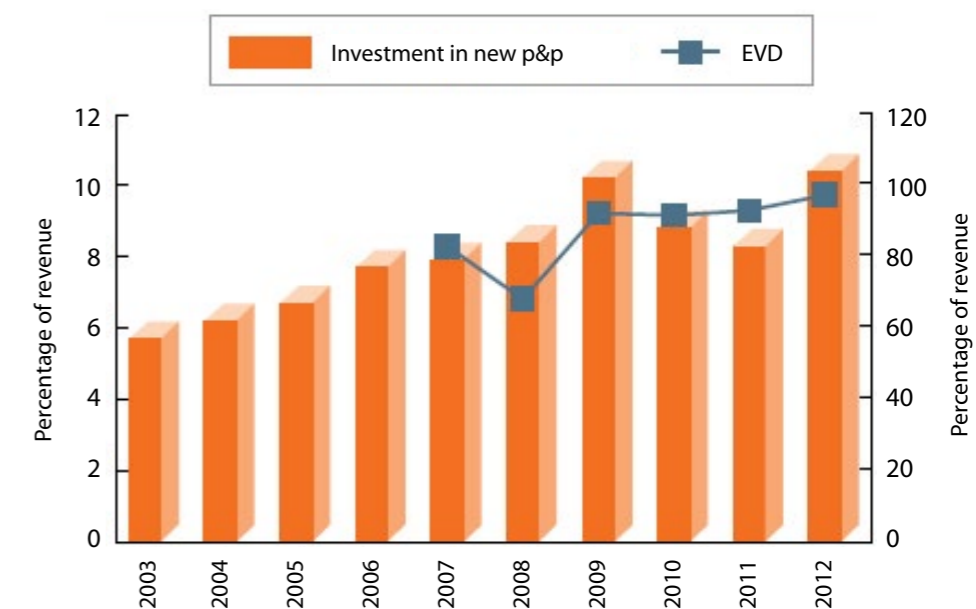
- **Desempeño Social – entrenamiento de empleados.** La industria está ganada para la idea de ofrecer y facilitar mayor educación y entrenamiento para sus empleados, con miras a potenciar sus capacidades, habilidades y conocimientos. En este sentido la industria desarrolla varios programas, incluyendo instrucción en salones de clases, entrenamiento basado y asistido por computadoras, y capacitación y entrenamiento en el mismo sitio de trabajo. El indicador respectivo mostrado en la [Fig. 16] es fluctuante y con tendencia decreciente, por lo que, se desprende que la industria debe poner más énfasis y esfuerzos por mejorar esta situación.



[Fig. 14] Consumo de energía y emisiones de CO2 de la producción mundial de Acero con el proceso integrado BF/BOF. FUENTE: OECD (2013).



[Fig. 15] Tasa de tiempo perdido por frecuencia de accidentes y entrenamiento de empleados. FUENTE: WORLD STEEL ASSOCIATION, 2013A.



[Fig. 16] Inversiones en nuevos procesos y productos y Valor Económico Distribuido (EVD). FUENTE: WORLD STEEL ASSOCIATION, 2013A.

Es necesario resaltar que, en los últimos años, la industria del acero enfrenta una baja en la oferta de mano de obra calificada. La formación, capacitación y captación de personal profesional y técnico idóneo para laborar en la industria ha mostrado una franca tendencia mundial al decaimiento, por lo que, las universidades, a nivel mundial y desde el año 2003, por iniciativa de la industria, se han abocado a la actualización y mejora de sus programas académicos con miras a ofrecer la formación académica acorde con las tecnologías, procesos y conocimientos modernos en esta importante área del conocimiento para el desarrollo y progreso de la humanidad.

- **Desempeño Económico – Inversión en nuevos procesos y productos y valor económico distribuido (EVD).** El Indicador de la inversión mide el valor del gasto de capital y de investigación y desarrollo expresado en porcentaje de renovación. El gasto de capital se refiere al dinero usado para adquirir o mejorar activos de largo término, tales como, propiedades, plantas y equipos. Investigación y desarrollo se refiere al dinero usado con el propósito de adquirir nuevos conocimientos científicos y tecnológicos para desarrollar nuevos procesos, productos y servicios. En la [Fig. 16] se muestra las graficas relacionadas con ambos indicadores. En general, la tendencia de la curva que representa la inversión en nuevos procesos y productos es hacia el crecimiento, mostrando un repunte significativo en el último año reportado.

El Valor Económico Distribuido (EVD) representa la contribución, directa e indirecta, de la industria del acero a la sociedad, la cual es reflejada en varias formas, tales como, inversión comunitaria, pago de impuestos y regalías, dividendos de los accionistas y sueldos y salarios de los empleados. La grafica correspondiente a este indicador muestra una tendencia constante al crecimiento, indicando que el crecimiento económico de la industria del acero está fuertemente relacionado con la distribución de la riqueza a través de la inver-

sión social. El [Cuadro 1] muestra el resumen del promedio de los valores más representativos de los indicadores de sostenibilidad para el sector productor del acero a escala mundial y para el período 2007 a 2012.

El Consejo Laplace del Comité del Acero de la OECD, en un interesante trabajo sobre el futuro del acero y la evolución de esta industria ubicada en los países miembros de la organización (OECD, 2012), presentó ante la Comunidad Europea, como conclusión, un grupo de seis (6) recomendaciones derivadas de la investigación realizada con relación a ambos tópicos. Se agregan algunos comentarios basados en la revisión realizada sobre la situación actual de la industria:

- Enfocar la asistencia sobre los restantes productores integrados (BF/BOF) no reestructurados, donde la mayor parte de la sobrecapacidad remanente esté concentrada.
- Fomentar el comercio del acero de alta resistencia, así como, la tecnología y mejores prácticas en su producción entre los países miembros de la OECD.
- La mayor calidad y resistencia de los aceros modernos permite aplicaciones más eficientes en la industria de la construcción, que usaran menos energía comparadas con las aplicaciones actuales, por lo que, son esenciales los esfuerzos sostenidos en I+D+i en estos aceros para incrementar su conocimiento y uso [Fig. 17] (OECD, 2013).
- Promover el reciclado del acero, a todos los niveles y entre todos los interesados en la industria, recolectores, procesadores, fabricantes de acero con el proceso de Horno de Arco Eléctrico o EAF.
- El desafío en este punto, es salvar las restricciones ambientales y comerciales, así como las protecciones económicas impuestas en algunos países productores de chatarra para su manejo, exportación y comercialización internacional, así como, superar los déficits de chatarra que se producen como consecuencia del aumento de la demanda por incremento de los procesos de producción de Acero EAF (Danjczek, 2012).

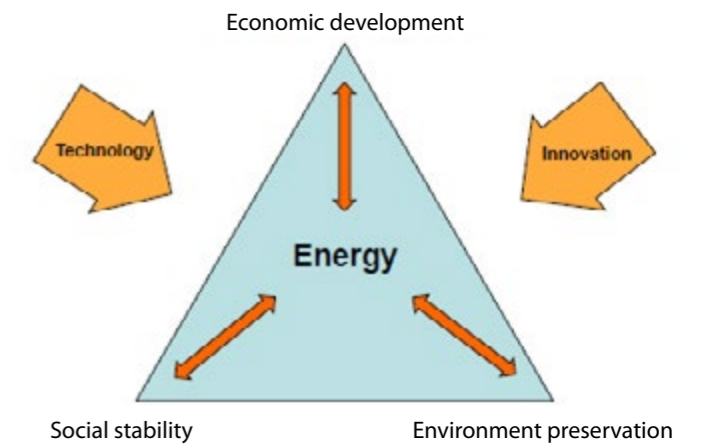
- Fomentar el uso del gas natural como sustituto del carbón, independientemente de lo económico. Anticipar el reemplazo de los viejos procesos integrados de alto horno y alto horno de oxígeno, BF/BOF, por procesos integrados más nuevos de obtención del acero por tecnología de horno de reducción directa y horno de arco eléctrico, DRI/EAF.
- La mejor oportunidad para una mayor reducción de la huella de carbón de la industria es acelerar el cambio o la conversión de los procesos integrados de producción BF/BOF a Chatarra/EAF (OECD, 2013). Para que esta idea sea una solución y un éxito a largo plazo se requiere solventar los problemas surgidos con la comercialización internacional de la chatarra, citados anteriormente.
- Fomentar modernas relaciones sociales y gerencia local.
- Promover el acero como el mejor material para el futuro.

Finalmente, tal como lo refleja la [Fig. 17] (OECD, 2013), es importante resaltar el hecho de que la sostenibilidad del acero y de su industria productora está fuertemente fundamentada en los esfuerzos e inversión efectivos en investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) para un mejor y más eficiente uso y manejo responsable del consumo y de las fuentes de energía, como factor crucial para la evolución, progreso, sostenibilidad y subsistencia de la industria del acero y, más importante aún, como contribución a la preservación de la raza humana.

3.2. REFERIDO A LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN CON ACERO

Kibert (1994), señala que, mientras el diseño y construcción tradicional se enfoca en objetivos de costos, desempeño y calidad, el diseño y construcción sostenible adiciona a estos criterios la minimización del agotamiento de recursos, minimización de la degradación ambiental y la creación de un ambiente construido saludable. El cambio hacia la sostenibilidad debe ser visto como un nuevo

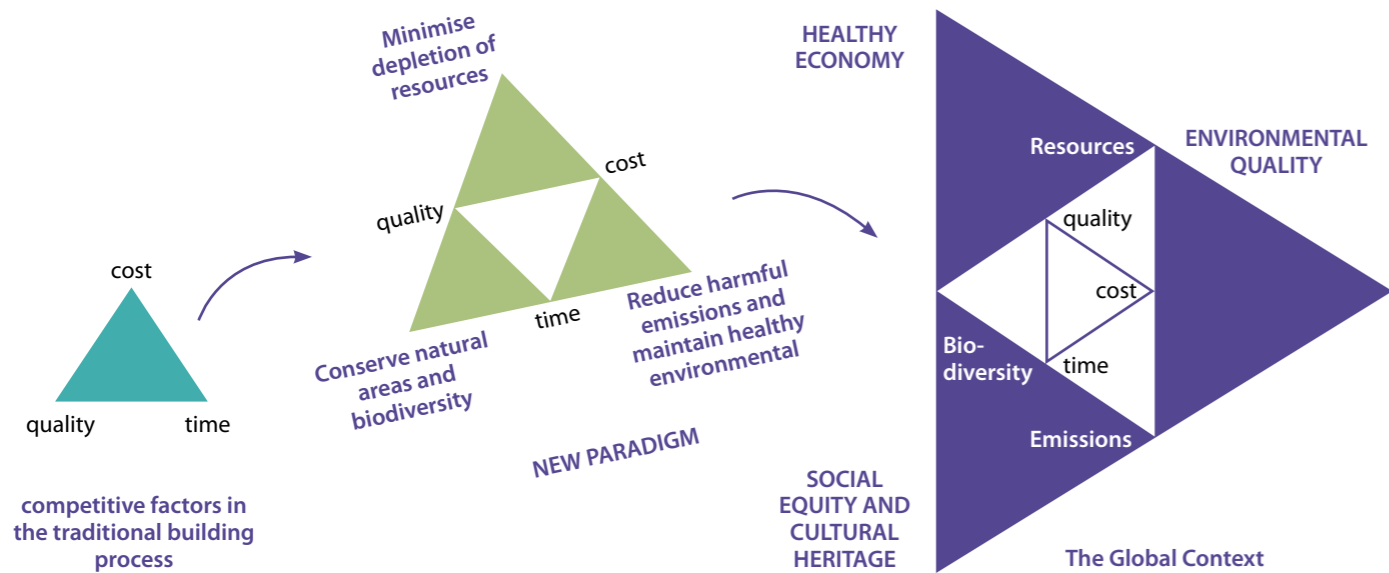
Conclusions: Energy is at the crossroad of the three dimensions of society evolution. Technology and innovation are the key to future progress



[Fig. 17] Innovación y tecnología como factores claves del progreso y sostenibilidad de la industria del acero. FUENTE: OECD (2013).

paradigma, donde los objetivos sostenibles estén dentro del diseño y la industria de la construcción de edificaciones, considerados para la toma de decisiones en todas las etapas del ciclo de vida de la instalación (Huovila y Koskela, 1998 y Huovila, 1999). En este sentido, la [Fig. 18] delinea la evolución y desafíos de la construcción sostenible en un contexto global.

La implementación de la Construcción Sostenible, independientemente del material seleccionado, depende de cómo es desarrollado el concepto por los países que lo acogen, en función del tipo de economía existente en cada país. Las diferencias existentes entre las economías de mercado, economías de transición y economías en desarrollo influyen sus prioridades de implementación. En las economías de mercado se pone mayor atención al parque de edificios sostenibles, ya sea por nuevas construcciones o por remodelaciones. En las economías de transición el énfasis es puesto sobre nuevos desarrollos para reducir el déficit de viviendas y mejorar su red de transporte. En las economías en desarrollo, la agenda social



[Fig. 18] Desafíos de la construcción sostenible en un contexto global. FUENTE: HUOVILA Y KOSKELA (1998).

está por encima de la agenda basada en intereses ambientales (Huovila y Koskela, 1998). La industria de la construcción tiene que adaptarse a estas nuevas y emergentes economías, las cuales tienen dimensiones sociales y ambientales fundamentales en los intereses propios de su economía. Adicionalmente a los conocidos criterios de sostenibilidad comunes, se puede hacer mención a otras medidas sostenibles importantes, tales como la preservación del valor de la propiedad, flexibilidad, larga vida de servicio, uso de recursos locales, difusión de la información, uso de subproductos, servicios inmateriales, consideración de la movilidad o apoyo a la economía local (Bourdeau *et al.*, 1998).

La expectativa se centra en que el negocio de la construcción incorpore todos o la mayor cantidad posible de los problemas que presentan otros actores involucrados con el sector construcción, a cualquier nivel o escala, local o comunitario, regional o nacional, ya que la solución a la problemática de la implementación adecuada de la Construcción Sostenible es multifactorial y obedece a una mezcla compleja de presiones sociales, políticas, ambientales y, por supuesto, económicas

o de mercado, todo en aras de la entrega de sus productos a satisfacción de las justas, genuinas y legítimas demandas, necesidades e intereses de los beneficiarios. El llamado a los encargados de la toma de decisiones es a establecer políticas, planes y programas que tiendan a la unificación de esfuerzos y al fortalecimiento de iniciativas e inversión en I+D+i en pro del mejoramiento de la calidad de vida y salud de la sociedad a través de la sostenibilidad.

En este sentido, Huovila (1999), plantea que los consumidores ya están conscientes e interesados en los problemas ambientales y de sostenibilidad de su entorno que están hoy presentes. El ambiente, la productividad de recursos, la innovación y la competitividad están ligados por lógica y por problemas ecológicos subyacentes más allá de los factores críticos de éxito. Agrega que, en el contexto de la sostenibilidad, es prioritario ahondar en la definición clara del concepto de construcción sostenible, así como, enfatizar la investigación en las necesidades y objetivos siguientes:

- Descripción de un marco holístico, integral y explícito para la Construcción Sostenible.

- Explorar enfoques creativos para la evaluación del desempeño de edificios con características generalizables.
- Desarrollo de sistemas empoderados de apoyo de decisiones, integrando indicadores ambientales y económicos.
- Establecer mecanismos innovadores que ofrezcan incentivos para la mejora de procesos y productos rentables.
- Integración de los procesos de planificación, diseño y construcción de edificaciones con la incorporación de los principios de la sostenibilidad y el concepto de Construcción Sostenible.
- Implementación productiva y cualitativa de ideas, evaluación y mejoramiento continuo.

En el caso específico de la construcción sostenible con acero, al igual que para la industria productora del acero, la discusión se puede enfocar en función de los tres pilares fundamentales o dimensiones de la sostenibilidad, ambiental, social y económica:

- **Desempeño Ambiental – consumo de energía y emisiones de gases efecto invernadero (GHG).** La industria de la construcción con acero, responsable y comprometida con la protección del ambiente para la preservación de la calidad de vida y bienestar humano, está exigida al uso de productos y componentes elaborados a partir de aceros producidos con procesos industriales que involucren bajas emisiones de gases de efecto invernadero (GHG) y bajo consumo de energía por tonelada de acero producido. Igualmente, debe garantizar el uso de componentes, instalaciones, sistemas y accesorios ecoeficientes, es decir, cuya emisión de GHG y, si es el caso, consumo de energía durante toda su vida de servicio sean mínimos. En este sentido, la industria de la construcción en general, incluida la construcción con acero, debe cambiar la manera como son ejecutadas todas las actividades de construcción, incorporando dentro del proceso de creación del ambiente construido materiales y componentes de acero ecoeficientes, es decir que cumplan con los principios de la ecoeficiencia, como lo son la reciclabilidad y

el reuso, así como, la reducción en el uso de la energía y de los recursos naturales, lo que en el caso del acero y sus derivados representa una ventaja comparativa, reconocida y demostrada, muy importante. En este sentido, debe explorar la posibilidad de fomentar la utilización de productos derivados y componentes de acero que posean la debida certificación ambiental de origen.

Se trata de que, para la industria, es necesario lograr un equilibrio adecuado entre el desempeño ambiental y el desempeño económico. Para este propósito existen varias metodologías, técnicas y herramientas. Entre las más conocidas y usuales para la construcción de edificaciones e instalaciones se puede citar a la de Costo de Ciclo de Vida (Life Cycle Costing, LCC) y la Evaluación del Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment, LCA). Alcanzar la meta del balance entre las dos dimensiones mencionadas no es una tarea fácil ni libre de costo. La adopción de prácticas de construcción sostenibles ya no es un costo sino un catalizador de la constante innovación y nuevas oportunidades del mercado (Baloi, 2003).

- **Eficiencia y economía en los procesos constructivos.** Una estrategia bien clara e influyente es la de incorporar procesos de construcción eficientes, económicos y de bajo consumo de materiales y energía y baja emisión de GHG y generación de residuos o contaminación. Promoción de tecnologías de construcción modernas e innovadoras, especialmente en lo referente a la protección ambiental. Implementación en el diseño y construcción de edificaciones o instalaciones de mejoras en el detallado y ejecución de las uniones de los miembros estructurales y de los elementos no estructurales, tales como cerramientos, parapetos, accesorios, instalaciones y demás obras de arquitectura.
- **Utilización de materiales y componentes producidos en la localidad o región de asentamiento de la construcción.** Esta es una de las iniciativas importantes para la disminución de las emisiones de GHG. Se debe fomentar

la producción local o regional de materiales y componentes de acero. Las emisiones, consumo de combustibles y sus efectos contaminantes, por concepto de transporte serán minimizadas y la economía local o regional será fortalecida.

- **Utilización de aceros de alta resistencia y desempeño.** Esta iniciativa es determinante, por las mismas razones dadas para la industria de la producción de acero. A esto se suma, que los aceros de alta resistencia requieren menor uso de materia prima y menores costos de mantenimiento durante su ciclo de vida completo.
- **Modernización, renovación y mantenimiento de maquinaria y equipos.** Es imprescindible la adopción, por parte de las empresas de la construcción, de un adecuado, eficaz y eficiente programa de modernización, renovación y mantenimiento de la maquinaria y equipos. Maquinarias y equipos viejos, obsoletos, deteriorados o en mal estado redundarán en un mayor consumo de combustibles y por ende en una mayor cantidad de emisiones al ambiente, incluida la contaminación sónica. Adicionalmente, esta situación propicia un peor ambiente de trabajo para los trabajadores. Tradicionalmente, la industria de la construcción prevé planes para satisfacer las motivaciones de este punto, pero no sus objetivos, ya que su cumplimiento no necesariamente obedece a razones ambientales.
- **Desempeño ambiental – Sistemas de Gestión/Manejo Ambiental (SGM-EMS).** Este punto es de vital importancia para la industria de la construcción, independientemente de su especialidad o inclinación. La manera usual en que las organizaciones se preparan para abordar la problemática ambiental es a través del establecimiento de un sistema de manejo ambiental (EMS), pues es necesario que todos los involucrados en los procesos de construcción conozcan y adopten los EMS, con miras al reconocimiento y evaluación de los impactos ambientales generados por las actividades de la industria. El tamaño de la compañía, sus

objetivos y actividades determinarán el tipo y tamaño del EMS a poner en práctica. La implementación de un adecuado EMS posibilita a las compañías de construcción para responder proactivamente a los desafíos y a los requerimientos regulatorios y legislativos ambientales. Un reto importante que tienen que afrontar las organizaciones constructoras tiene que ver con los problemas que caracterizan a los proyectos de construcción, tales como diferentes localidades con diferentes requerimientos específicos en términos de manejo y protección ambiental (Baloi, 2003). En este sentido, la implementación de los EMS y el cumplimiento de los requerimientos regulatorios, normativos y legislativos en esta materia, dada su multi disciplinariedad y complejidad, constituyen dos de los desafíos más importantes y críticos para la industria de la construcción. Baloi (2003) plantea acertadamente que la implementación del EMS es ambas cosas a vez, un reto y una oportunidad para las empresas constructoras y la industria de la construcción.

- **Desempeño Social – capacitación y preparación de los trabajadores.** La dimensión social de la industria de la construcción está más orientada y enfocada hacia el logro de la satisfacción de los clientes, a través del mejoramiento y elevación de su salud y calidad de vida. Igualmente, los industriales de la construcción están conscientes de la importancia de mantener un ambiente saludable, seguro y confortable para sus trabajadores, incluido las buenas relaciones sociales y laborales que deben existir entre la empresa y su personal. En este aspecto, es importante destacar que muchas empresas constructoras, dentro de su estructura organizativa, no cuentan con una estructura de manejo ambiental formal debidamente constituida, aún cuando puedan tener suficiente experiencia con respecto al manejo de la seguridad y los riesgos laborales. En los actuales momentos, todo proyecto de construcción lleva consigo la obligación y el compromiso de la empresa contratista

de adoptar y dar cumplimiento a medidas de manejo ambiental, buenas prácticas de construcción, salud, seguridad, en fin, a dar cumplimiento a medidas que aseguren su desempeño sostenible. Esto obliga a las empresas, en primer lugar, a emprender e impulsar el proceso de formación y capacitación de su personal, en todos los niveles, en un tema tan importante como el manejo ambiental y las regulaciones y requerimientos legislativos en esta materia y, en segundo lugar, a establecer una estructura organizacional formal para implementar el EMS y la debida supervisión, control y seguimiento de las medidas y acciones adoptadas con la finalidad de asegurar su efectividad. Esto requiere indudablemente de personal idóneo especializado en la materia.

- **Desempeño Económico – inversión en nuevos procesos y productos ecológicos.** Primeramente, es importante reconocer y dejar claro que la sostenibilidad del sector construcción depende también de la implementación de medidas de sostenibilidad de otros sectores de la economía, tales como los productores de materiales y componentes para la construcción. Muchos de los trabajos de investigación realizados sobre este tema concluyen que los contratistas de construcción consideran que la adopción de medidas y prácticas de construcción sostenible en la construcción conducen inevitablemente a uso de recursos y costos adicionales y, por lo tanto, no es atractivo para sus intereses (Baloi, 2003). Indudablemente la adopción de los EMS, la adquisición de materiales sostenibles y todas las medidas y prácticas de construcción sostenible que puedan implementarse tendrán, necesaria e ineludiblemente, un impacto económico en la empresa constructora, la cual deberá desempeñar toda su experticia, conocimiento y estrategias económicas para el logro del desempeño ambiental y económico adecuado y apegado a los principios y objetivos de la sostenibilidad. En consecuencia, el principal reto en materia económica lo constituye la necesidad de usar

materiales y prácticas ecoeficientes, así como la adopción de los EMS y sus implicaciones organizativas y laborales de manera eficaz y eficiente, sin que implique un conflicto o trauma económico para la empresa constructora. En este sentido, la empresa habrá de reconocer que tendrá que incurrir en costos adicionales, pero que esos costos serán reflejados positivamente como beneficios económicos para la empresa, su percepción ante la colectividad y ante los organismos gubernamentales competentes en la materia, lo que, al final de cuentas, tendrá un impacto favorable en sus relaciones con sus trabajadores, sus futuros clientes, con su entorno social y con los sectores gubernamentales encargados de velar por el cumplimiento de la legislación ambiental. Otro reto, no menos importante, lo constituye el hecho de que la empresa constructora debe, a la par de incorporar los EMS y las medidas, estrategias y prácticas de construcción sostenible, mantener o al menos equilibrar los niveles de eficiencia, producción y productividad que le permitan garantizar los niveles de rentabilidad necesarios para asegurar su supervivencia y permanencia en el mercado de la construcción.

— 4. CONCLUSIONES

Las grandes, demostradas y constantemente renovadas, propiedades y atributos del acero, desde la perspectiva de las dimensiones del Desarrollo Sostenible, lo evidencian y al mismo tiempo lo enaltecen como el material de construcción con mayor tendencia, potencial y comportamiento sostenible.

La industria de la producción de acero enfrenta constantemente grandes retos y demandas que, más que problemas o factores de distorsión de su crecimiento y desarrollo, de manera adecuada, oportuna y eficientemente atendidos y resueltos, representan grandes oportunidades para magnificar su valor e importancia en el desarrollo, crecimiento y preservación de la humanidad.

Los retos más importantes que enfrenta la industria de la producción del acero actual son la optimización en el consumo de energía, las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG) y en la utilización de los recursos naturales. Deben mantenerse y, en muchos casos, redoblar los esfuerzos para invertir y fomentar la I+D+i en tan importante sector industrial.

Es un hecho probado y definitivo que la incorporación de las tecnologías de punta favorece considerablemente la eficiencia de la industria productora del acero y de las empresas constructoras con acero con relación al consumo de energía, las emisiones de GHG y la utilización de los recursos naturales. Esto indica que deben hacerse los esfuerzos necesarios para apoyar y fomentar la implementación, actualización y uso de estas tecnologías en ambos sectores industriales. En este sentido, se debe dar un gran acuerdo mundial para dictar una política de consenso entre todas las naciones para sustituir, de manera paulatina y progresiva, las viejas plantas industriales que utilizan todavía los procesos industriales de producción de acero más contaminantes del ambiente, así como, para facilitar el comercio o intercambio comercial de la chatarra para su movilización e incorporación en los procesos industriales de fabricación de acero.

La industria de la construcción con acero tiene una gran responsabilidad con la planificación, diseño y levantamiento de un ambiente construido con responsabilidad, ética y respeto con el medio ambiente, es decir, con la adopción e implementación de los principios y objetivos de la Construcción Sostenible. En este sentido, son grandes y cruciales los desafíos que enfrenta la industria de la construcción para materializar un mundo construido ideal, el cual se debe planificar y ejecutar en el marco de la Construcción Sostenible.

Las industrias de la producción del acero y de la construcción están exigidas por la sociedad y por las normativas legales de cada comunidad, local, regional o nacional, a cumplir preceptos y disposiciones que les impone un comportamiento y desempeño sostenible acorde con las realidades y dinámicas ambientales, sociales y económicas

propias de cada comunidad. Las industrias de la producción del acero y las empresas constructoras con este material deben adoptar, en el corto y mediano plazo, sistemas de gestión/manejo ambiental (SGM-EMS) adecuados que les permitan facilitar y asegurar el logro de este primordial objetivo.

Las industrias de la producción del acero y de la construcción con éste, independientemente de sus intereses y expectativas de rentabilidad, están exigidas a privilegiar su comportamiento y desempeño sostenible por encima de los demás intereses o valores empresariales. Cualquier iniciativa que propenda a incentivar esta conducta redundará en una mejor percepción y ubicación de la empresa ante la sociedad, el mercado, y en su relación con los organismos gubernamentales competentes en la materia.

Es imprescindible la preparación, formación, entrenamiento y concientización de los trabajadores en materia de normativa ambiental e implementación, uso y control de los sistemas de manejo ambiental (EMS), por parte de la empresa o industria, para garantizar un adecuado desempeño ambiental del sector laboral y de las empresas involucradas y, por ende, dar cabal cumplimiento a los principios y objetivos de la sostenibilidad. En consecuencia, es importante y, tal vez, decisivo que los organismos gubernamentales competentes promuevan políticas, planes, programas y proyectos tendentes a facilitar la instrucción y capacitación de todos los actores del proceso de construcción con relación a la materia ambiental, especialmente en cuanto a su participación y responsabilidad dentro del proceso de edificación y desarrollo del ambiente construido.

La industria de la construcción con acero debe promover la adopción e implementación de todas las medidas, métodos, tecnologías constructivas y buenas prácticas de ejecución posible relacionadas con su uso y de las estructuras de acero a los fines de garantizar el correcto y más eficiente desempeño ambiental del material, la estructura, la edificación y de la propia empresa constructora durante la ejecución de la obra de construcción y el ciclo de vida de la propia edificación.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALACERO. 2008. La Construcción en Acero para Viviendas en América Latina. Asociación Latinoamericana del Acero. *Revista Acero Latinoamericano* 507: 48-53.
- ARCELORMITTAL. 2013. La Construcción Sostenible con Acero. En Línea: http://www.construccion.com/espanol/construccion_sostenible [Consultado: 31/07/2013].
- BAKHTAR, K. A., L. Y. SHEN y S.H. MISNAN. 2008. A Framework for Comparison Study on the Major Methods in Promoting Sustainable Construction Practice. *Jurnal Alam Bina* 12(3): 55-70.
- BALOI, D. 2003. Sustainable Construction: Challenges and Opportunities. Proceedings of the 19th Annual Association of Researchers in Construction Management (ARCOM) September 3-5. Conference, Ed. Greenwood, D. J., University of Brighton, Brighton, UK. 271 p.
- BELL, P. K. 2014. North American Steel Industry Update. Proceedings of the AIST St. Louis Chapter Annual Meeting, February 26. St. Louis, MO, USA. 184 p.
- BORSANI, M. S. 2011. Materiales Ecológicos. Estrategias, Alcance y Aplicación de Los Materiales Ecológicos como Generadores de Hábitats Urbanos Sostenibles. Tesina de Master. Departamento de Proyectos Arquitectónicos, Universidad Politécnica de Cataluña, UPC, Barcelona, España. 189 p.
- BOURDEAU, L., P. HUOVILA, P., R. LANTING y A. GILHAM. 1998. *Sustainable Development and the Future of Construction. A Comparison of Visions from Various Countries*. CIB Report 225, Rotterdam, the Netherlands. 241 P.
- DANJCZEK, T. A. 2012. Changes, Drivers and Challenges in the North American Steel Industry. Proceedings of the Chain Link Fence Manufactures Institute Annual Meeting, October 17. Scottsdale, AZ, USA. 168 p.
- DE CARVALHO, A. 2010. Challenges and Opportunities for the Steel Industry in Moving Towards Green Growth. Proceedings of the Green Growth: Seizing New Opportunities for Industries – Korea/OECD Workshop, March 4. Seoul, Korea. 183 p.
- EUROPEAN COMMISSION (EC). 2013. *Action Plan for a Competitive and Sustainable Steel Industry in Europe*. Communication from the Commission to the Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of Regions, No. COM 407, Brussels, Belgium. 174 p.
- FERRER, ALDO. 1997. *Hechos y ficciones de la globalización*. Fondo de Cultura Económica. Buenos Aires, Argentina. 169 p.
- GERVASIO, H. 2008. Sustainability of Steel Structures. Proceedings of Annual Meetings-Technical Meeting, September 17-19. European Convention for Constructional Steelwork (ECCS), Aalesund, Norway. 163 p.
- GERVASIO, H. 2009. La Sustentabilidad del Acero y Las Estructuras Metálicas. *Revista Acero Latinoamericano*, Asociación Latinoamericana del Acero. *ALACERO* 513: 18-25.
- HUOVILA, P. y KOSKELA, L. 1998. *The Contribution of the Principles of Lean Construction to Meet the Challenges of Sustainable Construction*. Proceedings of the Sixth Annual IGLC Meeting, Guarujá Beach, Brazil. 172 p.
- HUOVILA, P. 1999. *Sustainability Sets Challenges – Should We Bother?* Proceedings of Berkeley and Stanford Construction Engineering and Management (CE&M) Workshop, Stanford University, Stanford, CA, USA. 148 p.

- KIBERT, C. J. 1994. *Establishing Principles and a Model for Sustainable Construction*. Proceedings First International Conference on Sustainable Construction, Noviembre 6-9. Ed. C. Kibert, Tampa, FL, USA. 206 p.
- KIBERT, C. J. 2007. The Next Generation of Sustainable Construction. *Building Research and Information* 35(6): 595-601.
- KIBERT, C. J. 2008. *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery*. Second Edition, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, USA. 168 p.
- MEDINA R. 2006. Análisis de la Viabilidad Económica y de la Sostenibilidad de las Armaduras Corrugadas de Acero Inoxidable en Elementos de Hormigón Armado Sometidos a Clases Generales de Exposiciones Agresivas. Tesina de Grado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puestos, Universidad Politécnica de Cataluña, UPC, Barcelona, España. 148 p.
- MONTILLA M., P. J. 2010. La Construcción de Edificaciones Sostenibles. Perspectivas, Estrategias y Retos en Latinoamérica. *Revista Ecodiseño y Sostenibilidad* 2 (1): 181-204.
- OECD. 2012. *The Future of Steel: How Will the Industry Evolve?* Steel Committee Meeting, Industry and Globalization. Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) – Steel Committee – Laplace Conseil. Paris, France. 256 p.
- OECD. 2013. *Impacts of Energy Market Developments on the Steel Industry*. Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) – Steel Committee – Laplace Conseil. Paris, France. 204 p.
- PASSER, A., G. CRESNIK, D. SCHULTER y P. MAYDL. 2007. *Life Cycle Management*. Proceedings of 3rd. International Conference on Life Cycle Management. University of Zurich at Irchel, Zurich, Switzerland. 258 p.
- RAE. 2001. *Diccionario de la lengua española*. Edición No. 22. Editorial Espasa, Madrid, España. En Línea: <http://buscon.rae.es/drael/> [Consultado: 18/02/2014].
- SACHS, J. 2005. *The End of Poverty*. The Penguin Press. New York, USA. 148 p.
- SJÖSTRÖM, C. 2010. Aproximaciones a la sustentabilidad en la construcción de edificios. Traducción. *Revista Tecnología y Construcción* 26(1):58-64.
- STEEL RECYCLING INSTITUTE (SRI). 2013. Sustainability and Steel in Construction Applications. En Línea: <http://www.recycle-steel.org/Sustainability> [Consultado: 18/08/2013].
- CSIR-CIB. 1999. *Agenda 21 for sustainable construction in developing countries*. The International Council For Research and Innovation In Building and Construction (CSIR-CIB). Pretoria, South Africa. 256 p.
- CSIR-CIB. 2002. *Agenda 21 for sustainable construction in developing countries*. A discussion document. The International Council For Research and Innovation In Building and Construction (CSIR-CIB). Pretoria, South Africa. 159 p.
- UE. 2010. Directiva Europea de Eficiencia Energética de Edificios 2010/31/UE. En Línea: http://www.elinstaladordigital.com/Portals/0/PDF2010/ES_Directiva_2010_31.pdf [Consultado: 15/12/2010].
- UN. 1987. *Our Common Future*. World Commission on Environment and Development. United Nations (UN). Oxford University Press. Great Britain. 137 p.
- UN. 2012. United Nations Development Programme (UNDP). Final Report of the United Nations Conference on Sustainable Development, RIO+20. United Nations (UN). Rio de Janeiro, Brazil. 242 p.
- WEISENBERGER, G. y J. CROSS. 2012. Structural Steel & Sustainability. En línea: http://www.usgbc-illinois.org/wpcontent/uploads/2012/06/052212_1245_145_sustainability_and_steel.pdf [Consultado: 15/02/2014].
- WIDMAN, J. 2005. Sustainability of Steel-Framed Buildings. Technical Report. Swedish Institute of Steel Construction, Stockholm, Sweden. En línea: http://www.sbi.nu/uploaded/dokument/files/SBI-Sustainability_of_steel_framed_buildings.pdf [Consultado: 27/01/2014].
- WORLD STEEL ASSOCIATION. 2012. Sustainable Steel. At the Core of a Green Economy. En línea: <http://www.worldsteel.org/steel-by-topic/sustainable-steel.html> [Consultado: 18/12/2013].
- WORLD STEEL ASSOCIATION. 2013a. Sustainable Steel. Policy and Indicators 2013. En línea: <http://www.worldsteel.org/publications> [Consultado: 08/01/2014].
- WORLD STEEL ASSOCIATION. 2013b. Building Sustainable Benefit with Steel Construction. En línea: <http://www.worldsteel.org/sustainable-steel.html> [Consultado: 01/02/2014].
- YELLISHETTY, M., MUDD, G. M., P.G. RANJITH y A. THARUMARAJAH. 2010. Environmental Life-Cycle Comparisons of Steel Production and Recycling: Sustainability Issues, Problems and Prospects. *Environmental Science & Policy* 14: 650-663.

