

Análisis:

La sustentabilidad del acero y las estructuras metálicas*

Por Helena Gervásio**

El desarrollo sustentable es actualmente un asunto esencial que tiene implicaciones en todos los sectores de nuestra sociedad. La industria de la construcción desempeña un papel fundamental en sus objetivos no sólo por su contribución a la economía global sino también por sus significativos impactos, tanto en términos ambientales como sociales.

Al acero se lo identifica normalmente como un material «amigo del ambiente», esencialmente gracias a su potencial de reciclaje. Sin embargo, no son sólo los beneficios ambientales del acero los que contribuyen a los objetivos de la construcción sustentable. Las estructuras metálicas presentan características naturales que concuerdan con los requisitos de la construcción sustentable, los que la hacen imbatible.

Introducción

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. En la Unión Europea (UE) la mitad de las materias primas extraídas de la tierra son utilizadas en la construcción y más de un cuarto de todos los residuos sólidos producidos provienen de esa actividad. (Maydl, 2004).

La **Construcción Sustentable** fue definida en 1994 por Charles Kibert, durante la Conferencia Internacional sobre Construcción Sustentable, que tuvo lugar en Tampa, como «la creación y planificación responsable de un ambiente construido saludable basado en la optimización de los recursos naturales disponibles y los principios ecológicos». La **Sustentabilidad de la Construcción** es definida habitualmente en tres áreas: ecológica, económica y sociocultural. Por lo tanto, una metodología de evaluación de la sustentabilidad de un sistema constructivo ha de considerar estas tres dimensiones (**Figura 1**). La **Construcción Sustentable** implica la adopción de los principios del **Desarrollo Sustentable** al ciclo global de la construcción, desde la extracción de las materias primas hasta el destino final de los residuos resultantes –análisis de cuna a sepultura– un proceso holístico

orientado a establecer un equilibrio entre el ambiente natural y el construido.

Puesto que la industria de la construcción es uno de los principales responsables de la escasez de recursos naturales y de la producción de residuos, desempeña un papel fundamental en el desarrollo sustentable global. Por consiguiente, para ser considerada como una industria sustentable se enfrenta a un gran desafío, quizás un desafío mayor que el de cualquier otro sector industrial.

La Comisión Europea ha desplegado grandes esfuerzos para desarrollar y promover estrategias que minimicen los impactos ambientales provocados por la actividad de la industria de la construcción y por el ambiente construido, mejorando simultáneamente las condiciones de competitividad. En el contexto de la comunicación de la Comisión Europea sobre competitividad de la industria de la construcción (COM [97] 539, 1997), los principales aspectos de la sustentabilidad que afectan a la industria de la construcción fueron identificados como sigue:

- i. Materiales de construcción amigos del ambiente. Aproximadamente el 50% de todos los materiales extraídos de la corteza terrestre son transformados en materiales y productos para la construcción.

* Como corresponde a todos los artículos de esta revista con mención de autor las opiniones y datos vertidos en este artículo corren por cuenta exclusiva del mismo.

** Ingeniera Civil, Universidad de Coimbra, Portugal.

- ii. Eficiencia energética en edificios. La construcción, operación y luego demolición de los edificios llega a aproximadamente el 40% de toda la producción de energía y contribuye con un porcentaje semejante de emisiones de gases con efecto de invernadero.
- iii. Gestión de desperdicios de la construcción y demolición. En la Unión Europea los desperdicios de la construcción y de las demoliciones constituyen la mayor fuente de residuos sólidos en términos de peso.

La necesidad de promover prácticas y técnicas ecoeficientes en la industria y de fomentar que la utilización y la gestión de los recursos y residuos sea más eficiente, también es un requisito fundamental del Desarrollo Sustentable, por lo que la industria del acero desempeña un papel de extrema importancia en este sentido.

La sustentabilidad del acero

Los ya ampliamente acreditados beneficios ambientales del acero se asocian normalmente con su potencial de reciclaje. Pero el porcentaje de material reciclado utilizado en la producción de acero depende de cada proceso de producción. Este tema se aborda a continuación, donde también se analizarán y compararán los diversos impactos producidos por los dos procesos tradicionales: la producción en alto horno-acería al oxígeno (*Basic Oxygen Furnace*, BOF) y la producción en horno eléctrico de arco (*Electric Arc Furnace*, EAF).

Producción del acero

Actualmente se produce acero mediante dos rutas básicas –a partir de materias primas (mineral de hierro, caliza y coque)– en el alto horno continuando en general con la acería con convertidores al oxígeno o a partir de chatarra en el horno eléctrico de arco. Cerca del 60% del acero producido actualmente se obtiene mediante el primero de ellos, también conocido como ruta del proceso integrado. En esta ruta se utiliza entre el 25% y el 35% de acero reciclado, mientras que el porcentaje en el horno eléctrico de arco es de aproximadamente el 95%.

Impactos ambientales provocados por la producción del acero

La industria siderúrgica es de uso intensivo, tanto en términos de materiales como de energía. Más de la mitad de la enorme cantidad de ambos que entran

Figura 1
Las dimensiones de la sustentabilidad

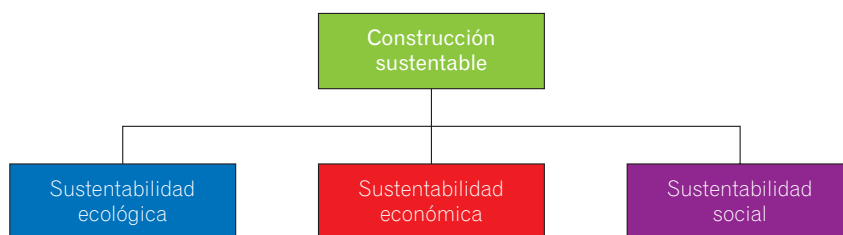
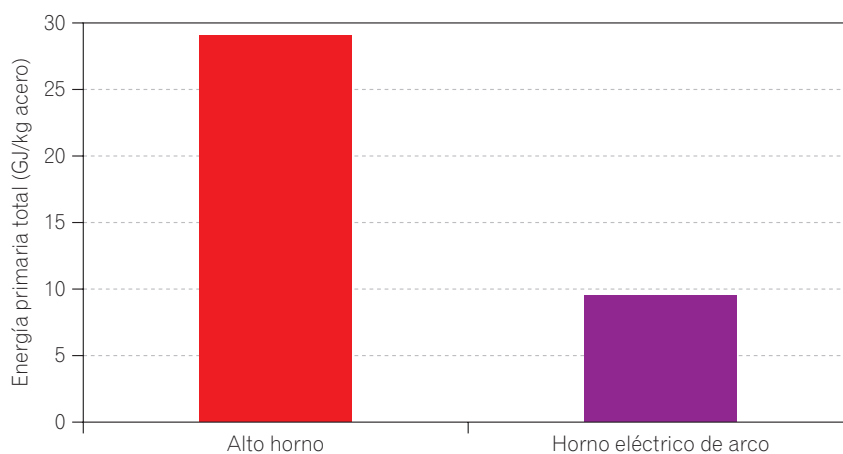


Figura 2
Energía consumida por proceso



al proceso terminan en efluentes gaseosos y residuos sólidos/subproductos. Las emisiones más relevantes son a la atmósfera, principalmente en lo que respecta al CO₂ y a otros gases con efecto de invernadero.

Es fácil entender que los mencionados procesos de producción conducen a consumos bastante diferenciados de energía. Por ejemplo, la producción de perfiles laminados, en cuanto al consumo de energía en la producción mediante la ruta del proceso integrado (alto horno), es de aproximadamente 29 GJ (Giga Joule, unidad de energía equivalente a mil millones de calorías) por tonelada de acero y mediante la producción en horno eléctrico de arco es de cerca de 10 GJ (**Figura 2**) (IISI, 2002).

Sobre la base de los diferentes porcentajes de acero reciclado utilizados en los procesos de producción del acero es fácil

constatar que las respectivas emisiones de carbono y de otras partículas también son considerablemente inferiores para el horno eléctrico de arco, que lo convierte en un proceso más eficiente en términos ambientales. Por cada tonelada de acero reciclado se ahorra 1,25 toneladas de mineral de hierro, 630 kg de carbón y 54 kg de caliza (de Spot, 2002). A ello se agrega que el proceso de reciclaje requiere menos energía, crea menos residuos y emite menos cantidades de partículas contaminantes que la elaboración de la misma cantidad de acero a partir de materias primas^[1].

Entre las emisiones de partículas contaminantes se destacan las de CO₂ y de otros gases con efecto invernadero. En este caso, la producción de 1 kg de acero en horno eléctrico de arco emite cerca de 462 g de CO₂, mientras que en la alternativa integrada (con alto horno) la pro-

[1] Nota del Editor: La dificultad que se plantea en la realidad es que no hay suficiente volumen de chatarra disponible para cubrir toda la necesidad de metálicos, por lo que se debe recurrir al proceso integrado (ya sea mediante la mencionada ruta del alto horno convertidor o a la alternativa de reducción directa, en general completada con acería eléctrica). Por otra parte, al considerar la alternativa de acería eléctrica con la carga de chatarra, sólo se cubre una etapa (acería), mientras que la ruta integrada cubre más procesos (preparación de materias primas, reducción y aceración).

ducción de igual cantidad de acero emite cerca de 2.494 g de CO₂. En el gráfico de la **Figura 3** se presentan algunos de los principales impactos ambientales provocados por la producción de una tonelada de acero, de acuerdo a cada uno de los procesos descritos anteriormente. Este gráfico permite comparar en términos porcentuales los impactos ambientales generados por cada proceso, pudiendo verificarse fácilmente la mejor *performance* ambiental de la producción en horno eléctrico de arco^[2].

Estrategias de preservación ambiental

Con el objetivo de convertir al acero en el material más ecológico y «amigo del ambiente», las grandes empresas siderúrgicas mundiales han venido implementando diversas medidas de preservación ambiental. Los aspectos de mayor preocupación son la disminución del consumo de energía y la reducción de la emisión de gases con efecto de invernadero, sobre todo del dióxido de carbono.

En las siderúrgicas la emisión de dióxido de carbono es el factor más preocupante, por lo que la industria está empeñada en reducir la emisión de estos gases y hacer que sus procesos de producción sean más eficientes. Con este propósito se han desarrollado diversos programas de investigación en todo el mundo. El principal es el europeo denominado ULCOS (*Ultra Low CO₂ Steelmaking*), cuyo objetivo central es el desarrollo de nuevas formas de producción con menos emisiones. Entre otras medidas desarrolladas, están las tecnologías que recurren a porcentajes mínimos de carbono (*carbon-light*) combinadas con la captación y acopio de CO₂ y la utilización de energías alternativas, tales como el gas natural, el hidrógeno, la biomasa y la electricidad.

En la **Figura 4** se destacan los resultados alcanzados por la industria siderúrgica de la Unión Europea entre los años 1970 y 2000, en lo que respecta al consumo de energía y emisiones de CO₂.

La sustentabilidad de las estructuras metálicas

Sin embargo, no es tan sólo como material que el acero participa en los ob-

Figura 3
Impactos ambientales

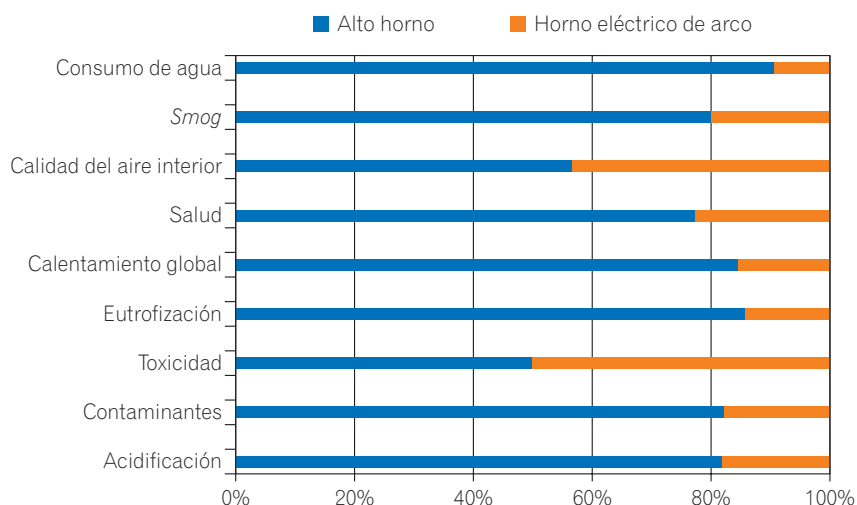
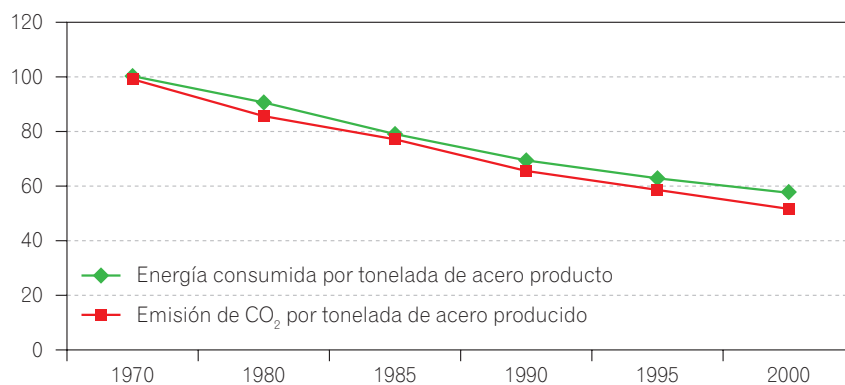


Figura 4
Industria europea de acero



Fuente: Eurofer, Eurostat.

jetivos de la construcción sustentable, ya que las estructuras metálicas tienen características naturales que también contribuyen a esos mismos objetivos. La construcción sustentable procura minimizar el consumo de recursos naturales y maximizar su reutilización, emplear recursos renovables y reciclables, proteger el ambiente natural, crear un ambiente saludable y no tóxico y entregar un ambiente construido de óptima calidad. Sobre la base de estos principios se definen las líneas generales que conducen a una construcción más sustentable:

- i. Abordar todo trabajo integrando el ciclo de vida del proyecto, considerando los fundamentos de la construcción sustentable, desarrollando soluciones optimizadas (estética, costo, vida útil, mantenimiento, consumo de energía).
- ii. Con consideración de las cualidades ambientales de los materiales en el proyecto y en el producto final.
- iii. Centrar la concepción funcional por encima de la fase de exploración (larga vida útil, durabilidad de los com-

[2] Nota del Editor: El Informe de Sustentabilidad de la Siderurgia (2008) informa una emisión promedio –para las dos rutas siderúrgicas consideradas en este artículo– de 1,7 t de CO₂/t de acero crudo. Esta información es superior a lo publicado anteriormente por World Steel Association (ex IISI) para los Inventarios de Ciclo de Vida, en el que participaron sólo algunas empresas asociadas. Cabe aclarar que, en este momento y debido a la Iniciativa de Enfoque Sectorial en que se encuentra trabajando World Steel Association, la metodología de cálculo de emisiones de CO₂ fue perfeccionada y el objetivo es que todas las empresas asociadas efectúen el relevamiento de inventarios por plantas, por lo que también ese dato promedio de las rutas de alto horno y horno eléctrico, será revisado próximamente. Los lectores pueden consultar una actualización del artículo en forma de presentación Power-Point en http://www.cbca-ibs.com.br/nsite/site/downloads/Construmetal_Helena_Gervasio.ppt

ponentes, flexibilidad de la funcionalidad del edificio, como también la rehabilitación y facilidad de desmontaje de los diversos componentes).

Al analizar las diversas fases a lo largo del ciclo de vida de una estructura metálica, se identifican fácilmente sus ventajas con relación a otros tipos de construcción.

Las estructuras metálicas, por lo general, son estructuras de elementos prefabricados, lo que implica un proceso de construcción más eficiente, una mayor rapidez de construcción y una minimización de los riesgos y deterioros de la obra y de las instalaciones de faena. Asimismo, como se trata de estructuras relativamente livianas, las fundaciones son más reducidas, lo que permite preservar el suelo y efectuar menos movimientos de tierra.

Dadas las características del acero en términos de resistencia y ductilidad, las estructuras metálicas permiten la construcción de superficies con grandes vanos libres, pilares más esbeltas y fachadas más livianas. Por ello, las estructuras metálicas permiten más libertad a la imaginación en la concepción de la obra. Al mismo tiempo, la existencia de espacios amplios, libres de obstáculos interiores, facilita la modificación o ampliación de la estructura a fin de adaptarla a nuevos requisitos funcionales o estilos de vida.

La existencia de grandes superficies vidriadas, normalmente asociadas a este tipo de construcción, permite la realización de fachadas, cubiertas más transparentes y una mejor gestión de la luz natural, favoreciendo la utilización de la energía solar.

En la fase final de la vida útil de las estructuras metálicas, gracias a las características enumeradas, es posible proceder a desmantelar las mismas que ya no son utilizadas y proceder a su reconstrucción en otros lugares. Además, si el destino final fuese la demolición, podría procederse al reciclaje del acero. Cabe recordar que el acero puede ser reciclado innumerables veces sin perder sus propiedades, contribuyendo así a la minimización del consumo de recursos naturales y a la maximización de la reutilización de esos mismos recursos.

Herramientas para la evaluación de la sustentabilidad

Las características de las estructuras metálicas enumeradas son ampliamente reconocidas. Pero la dificultad surge cuando se presenta la necesidad de traducir el análisis cualitativo de la sosten-

bilidad de estructuras metálicas a un análisis cuantitativo.

Actualmente existen dos metodologías básicas para el análisis de sustentabilidad del ambiente construido: los sistemas de clasificación ambiental y los análisis ambientales del ciclo de vida.

Los primeros son sistemas voluntarios de evaluación de la sustentabilidad, aplicables principalmente a edificios; la mayor parte de las veces terminan en la emisión de un certificado ambiental de acuerdo a los criterios definidos. Estos sistemas están basados en una serie de criterios cualitativos y cuantitativos, que son evaluados y clasificados con créditos y conducen a un resultado final que corresponde a la suma ponderada de los créditos obtenidos. Los sistemas de este tipo se aplican en diversos países, destacándose, por ejemplo, el sistema LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), en los Estados Unidos y el BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), en el Reino Unido.

Por otro lado, el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de un sistema constructivo consiste en la compilación y evaluación de todos los flujos (entradas y salidas) y de los potenciales impactos ambientales a lo largo de su ciclo de vida. El término «ciclo de vida» se refiere a las diversas fases del sistema constructivo, desde su construcción, utilización, mantenimiento y demolición final, incluyendo la adquisición de materia prima necesaria para la fabricación de los diversos materiales. La **Figura 5** ilustra las posibles fases a lo largo del ciclo de vida que pueden ser consideradas y los flujos (entradas/salidas) que normalmente son inventariados (USEPA, 2001).

Ambas metodologías presentan ventajas y limitaciones. Por ejemplo, mientras que en un sistema de clasificación ambiental es posible atribuir créditos a la adaptabilidad de un edificio frente a nuevos requisitos funcionales, en un ACV (Análisis del Ciclo de Vida) la consideración de este criterio es muy complicada. Por otro lado, un ACV es un análisis más completo que permite tener en cuenta los balances ambientales existentes entre las diversas fases a lo largo del ciclo de vida de un sistema constructivo, lo que permite, por ejemplo, considerar la asignación del reciclaje del acero al final de la vida útil de una estructura.

El ACV es la metodología escogida para evaluar la sustentabilidad en los casos prácticos que se presentan en forma resumida a continuación.

Evaluación de la sustentabilidad: Casos prácticos

En este ítem se presentan en forma resumida casos prácticos, los que son sometidos a un análisis comparativo en términos de sustentabilidad, entre una estructura metálica y un método alternativo de construcción. En ambos casos, el método constructivo alternativo es concreto armado, ya que éste continúa siendo el método tradicional de construcción en Portugal.

Aplicación a una obra de arte

Como ya se ha mencionado, la utilización de aceros provenientes de procesos de producción diferentes conduce a impactos ambientales muy diversos. Para evaluar las diferencias, en términos de

Figura 5
Límites del sistema en un ACV

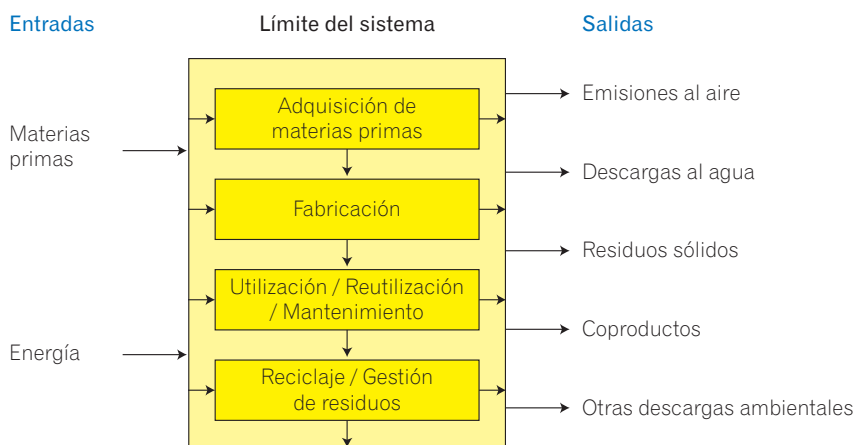


Figura 6
Planta y alzado del puente

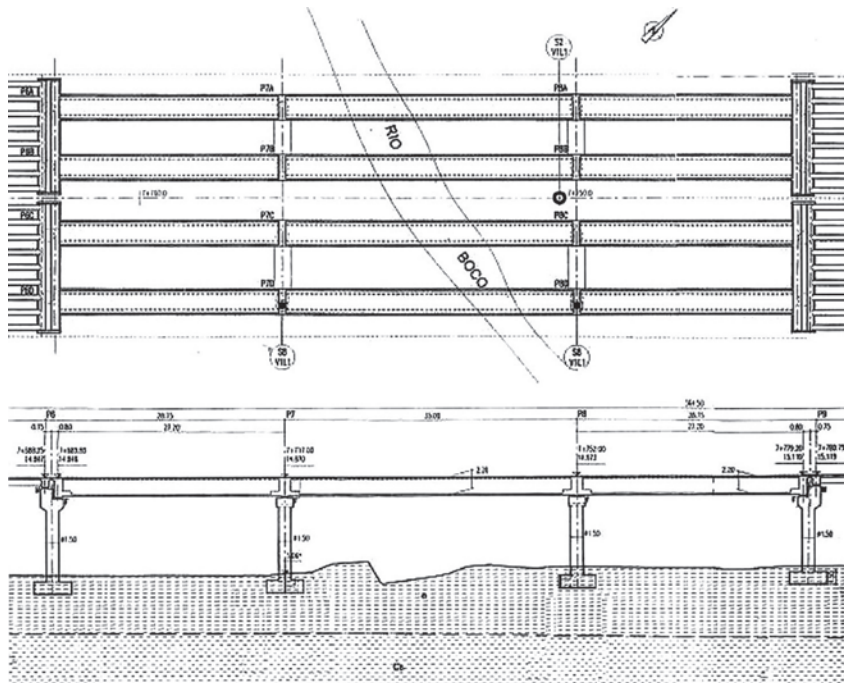
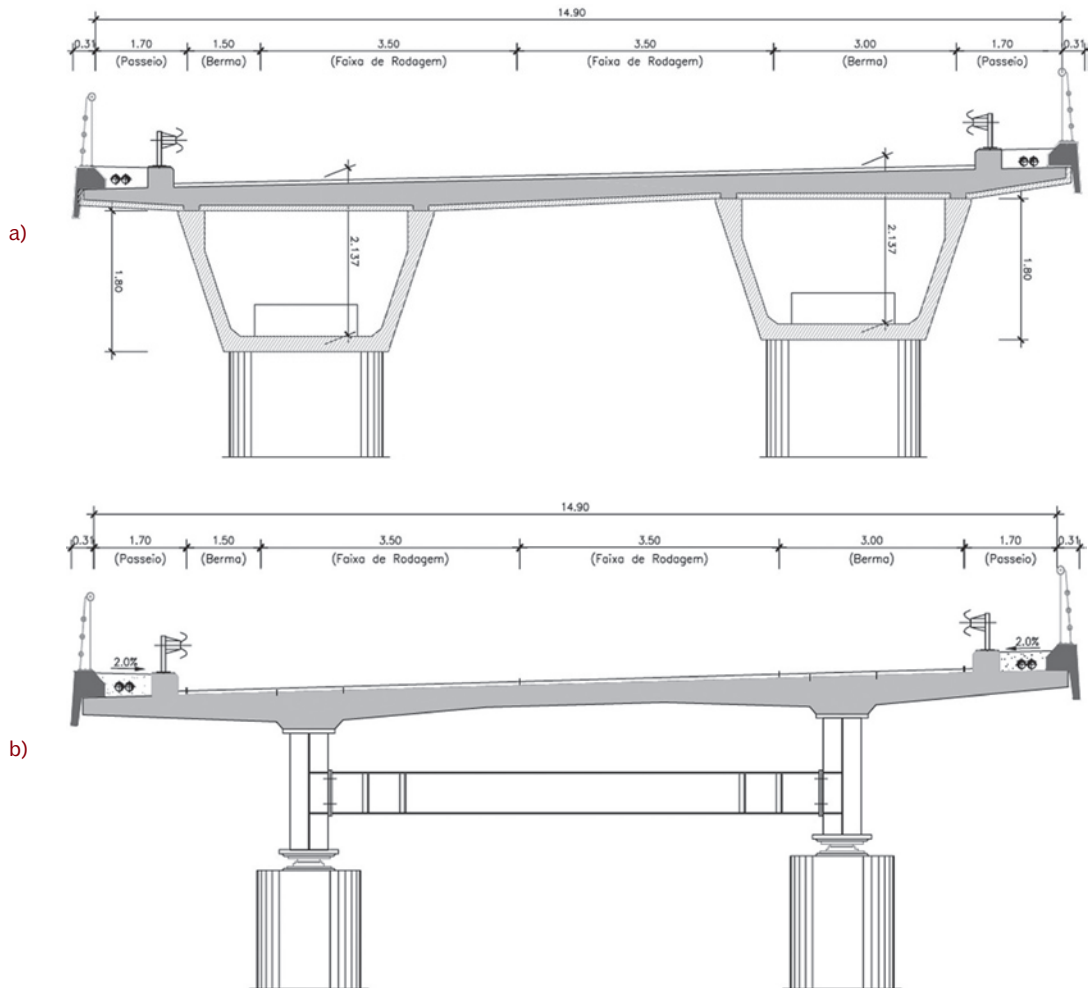


Figura 7
a) Solución en concreto; b) Solución mixta acero-concreto



impactos ambientales, se usó un caso práctico (Gervásio & Silva, 2005). En este estudio se efectuó un análisis comparativo entre dos soluciones estructurales alternativas de una obra de arte, cuyo desarrollo en planta y en alzado se ilustra en la **Figura 6**.

La solución preconizada por el proyectista original consistía en una solución en concreto prefabricado, con doble viga cajón. La solución alternativa fue una solución mixta, compuesta por dos vigas metálicas de alma llena y una losa de concreto solidaria con las vigas que debían funcionar en conjunto. La **Figura 7** ilustra ambas soluciones. En ambos casos las soluciones satisfacen los requisitos de los Eurocódigos más relevantes aplicables a cada uno de ellos, asumiéndose una vida de servicio de 50 años.

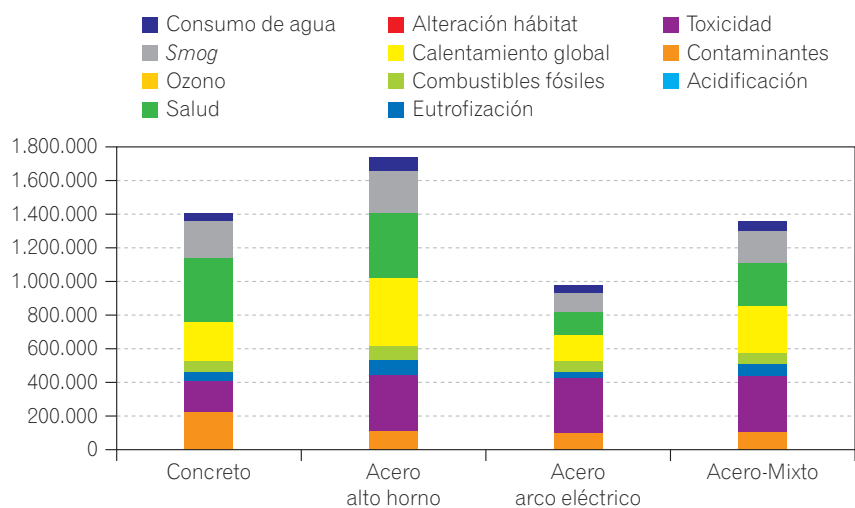
Se evaluó la *performance* ambiental de ambas soluciones basándose en un análisis de ciclo de vida, de acuerdo a las normas internacionales ISO, Serie 14040 (ISO14040, 2006; ISO14044, 2006), y recurriendo al programa de análisis BEES (Lippiatt, 2002).

En el análisis de inventarios, se cuantificaron todas las entradas (cantidad de materias primas, cantidades de agua y de energía) y las salidas (emisiones de partículas a la atmósfera, al suelo y al agua) correspondientes a todas las fases de producción, desde la extracción de las materias primas hasta el producto final, listo para ser transportado desde el lugar de fabricación. Las fases siguientes no fueron consideradas en el análisis por la falta de datos suficientes y confiables en la literatura disponible para su cuantificación. Todos los datos de los diversos materiales de construcción, con excepción del acero estructural, fueron obtenidos de la base de datos del programa BEES. En el caso del acero, los datos se obtuvieron del *International Iron and Steel Institute* (IISI, 2002).

La evaluación de los impactos se efectuó basada en la metodología desarrollada por la *Society for Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) (Lippiatt, 2002). El resultado de este análisis fueron once índices, los cuales están representados en el gráfico de la **Figura 8**, para cada una de las soluciones estructurales.

En el mismo gráfico están representados, además de los resultados obtenidos para la solución inicial en concreto, los resultados correspondientes a la solución mixta, admitiendo tres escenarios diferentes para el origen del acero estructural.

Figura 8
Resultado de la performance ambiental



Así, en el primer escenario se consideró que todo el acero utilizado provenía del proceso basado en alto horno convertidor al oxígeno; en el segundo escenario el acero provenía de acería eléctrica cargada con chatarra y, finalmente, en el tercer escenario se consideró una situación en que el 50% del acero suministrado había sido producido mediante el primer proceso y el restante 50% por el segundo.

Es así como la primera columna representa el resultado ambiental total de la solución en concreto. Comparando este resultado con el obtenido en la solución mixta, asumiendo el horno de arco eléctrico como origen de todo el acero, representado en la tercera columna, se observa que la solución mixta presenta claramente un resultado ambiental muy superior a la primera (-31%). Los resultados de la solución mixta que supone toda la producción basada en la ruta integrada (peor caso posible), empeoran en cerca del 23% los resultados obtenidos para la solución en concreto^[3].

Finalmente, en la cuarta columna se presenta el resultado del escenario compuesto por el 50% de cada proceso de producción, lo que correspondería al caso más realista cuando no hay certeza del origen del acero. En este caso, el resultado supera por un pequeño margen del -4% a la solución en concreto.

Aplicación a un edificio

La misma metodología de ciclo de vida ambiental fue aplicada a otro caso prác-

tico (Gervásio *et al*, 2005). En este caso, el estudio consistió en un análisis comparativo entre dos alternativas de solución estructural, con aplicación a una vivienda unifamiliar en Algarve (sur de Portugal), cuya planta se presenta en la **Figura 9**. En este ejemplo, además del análisis ambiental, se realizó también un análisis económico a lo largo del ciclo de vida de la construcción.

Se analizaron dos soluciones estructurales. La primera consistió en una «clásica», constituida por una estructura con pilares y losas de concreto, paredes exteriores de albañilería dobles (15 cm y 11 cm), enlucidas y pintadas en ambas caras y un cajón de aire de 4 cm de espesor, premunido de aislamiento térmico y acústico. Las paredes interiores fueron simples de mampostería de 11 cm de espesor, enlucidas y pintadas por ambas caras.

La alternativa fue definida como solución estructural mixta acero/concreto. Para este caso se consideró una losa mixta apoyada en pilares metálicos constituidos por perfiles laminados en «I», paredes exteriores de paneles sándwich con paño exterior de tableros OSB (*Oriented Strand Board*), revestidos con poliestireno expandido, paño interior de placas Pladur y cajón de aire relleno con lana de roca, totalizando un espesor de 30 cm. Las paredes interiores fueron semejantes aunque con 25 cm más de espesor.

Ambas estructuras fueron dimensionadas según los respectivos Eurocódigos estructurales, para que tuviesen igual

[3] Nota del Editor: En esto influye que la ruta integrada incluye etapas adicionales: preparación de materias primas, reducción y aceración.



performance estructural con igual margen de seguridad.

El análisis comparativo evaluó las dos soluciones en términos de comportamiento físico y, desde el punto de vista de la sustentabilidad de cada solución estructural. No se consideraron en este análisis los elementos que ambas soluciones tenían en común (fundaciones, losa de concreto sobre el suelo y cobertura). En términos de comportamiento físico, los comportamientos térmico y acústico se equilibraron para que no existiese una solución preferencial. El análisis de sustentabilidad determinó el sistema estructural que logra el mejor equilibrio entre *performance* ambiental y *performance* económica, considerando en ambos casos un análisis del ciclo de vida.

La *performance* ambiental fue evaluada sobre la base de la metodología aplicada al caso anterior. Fue así como en el análisis de inventarios se cuantificaron todas las entradas y salidas correspondientes a todas las fases de producción, desde la extracción de las materias primas hasta el producto final, listo para ser transportado desde el local de su fabricación.

Las fases siguientes no fueron consideradas en el análisis por falta de datos suficientes y confiables para su cuantificación en la literatura disponible. Todos los datos relacionados con los materiales de construcción, a excepción del acero estructural, fueron obtenidos de la base de datos del programa BEES (Lippiatt, 2002). En el caso del acero, los datos fueron sacados del *International Iron and Steel Institute* (IISI, 2002). La evaluación de impactos arrojó doce índices, los que están representados en el gráfico de la **Figura 10**, para cada una de las soluciones estructurales.

La evaluación económica del ciclo de vida, indicada en el gráfico de la **Figura 11**, se efectuó sobre la base de los costos iniciales y futuros correspondientes a cada solución. La compilación de los costos iniciales de construcción se basó en la cantidad de material estimada para

Figura 9
Planta de la vivienda

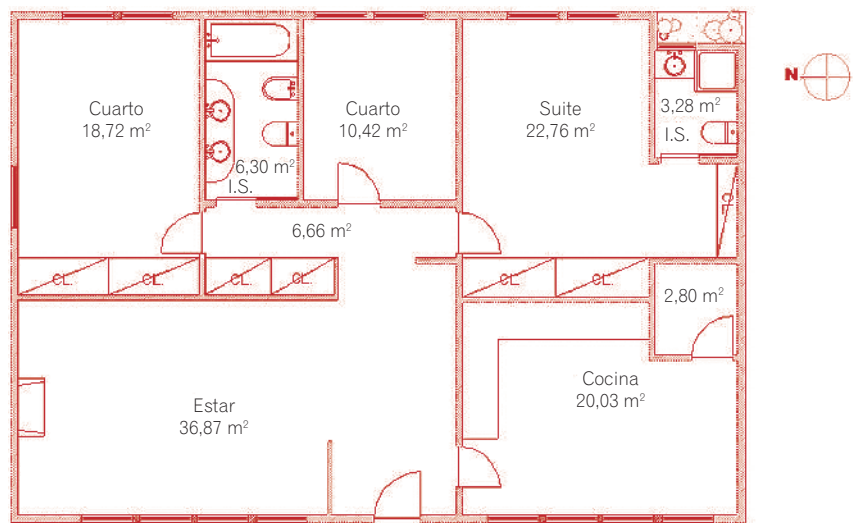
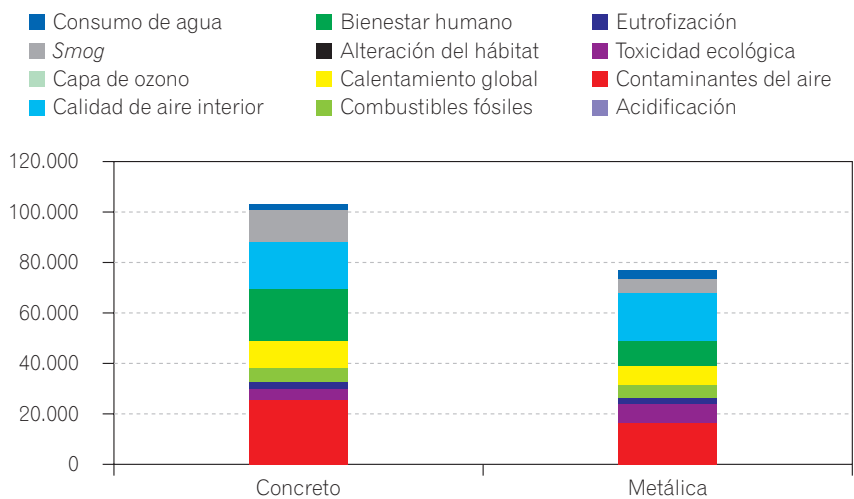
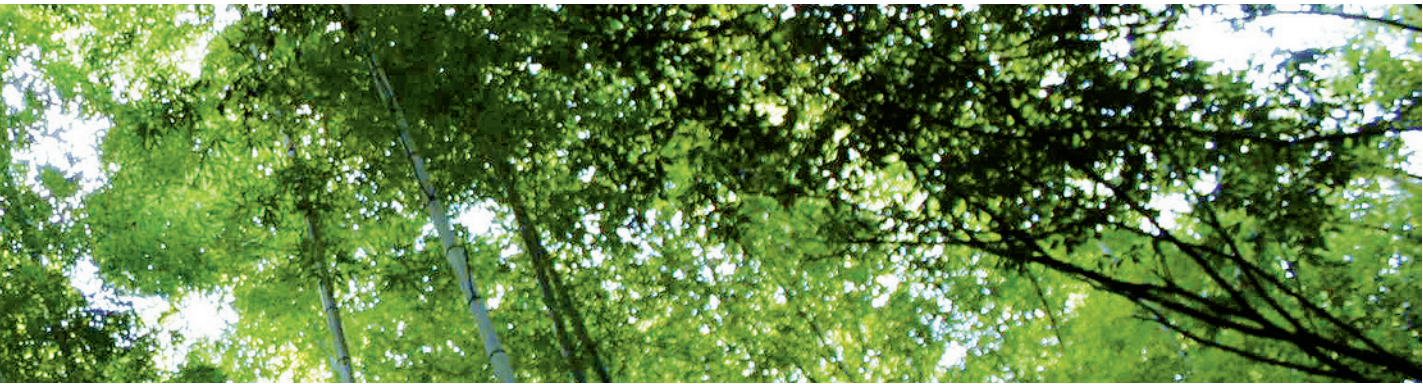


Figura 10
Evaluación de impactos



cada solución estructural, mientras que los costos futuros fueron estimados basados en los gastos de mantenimiento previstos para el período en referencia.

En este análisis se asumió un período de estudio de 50 años y la tasa real de descuento considerada fue del 3,9%.



El resultado final, ilustrado en la **Figura 12**, se obtuvo por la media ponderada de las *performances* ambiental y económica, considerando el mismo factor en ambos análisis.

En este caso, se verificó que la solución estructural mixta acero-concreto presentaba una *performance* ambiental y económica superior a la solución de concreto.

Observaciones finales

La industria de la construcción es responsable directa o indirectamente de una proporción bastante significativa en impacto ambiental, la cual puede comprometer a mediano o a largo plazo el futuro de las nuevas generaciones. Por lo tanto, una de las prioridades del sector de la construcción debe ser el desarrollo y la entrega de soluciones a fin de minimizar este problema. Gracias a las características naturales del acero, las estructuras metálicas permiten optimizar los recursos naturales y lograr un ambiente construido más racional y más eficaz, contribuyendo así a una construcción más sustentable.

Referencias

COM (97) 539, 1997. Communication from the European Commission: The Competitiveness of the Construction Industry». M. de Spot., 2002. «The application of structural steel to single-family residential construction», Node Engineering Corp., Surrey, B.C.

Gervásio, H. & Simões de la Silva, L., 2005. «Sustainability and life-cycle assessment of steel-concrete composite plate girder bridges: A case study», Proceedings of the 4th European Conference on Steel and Composite Structures, Maastricht, Holland, pp. 4.6-61 a 4.6-69.

Gervásio, H., Simões de la Silva, L. & Bragança, L., 2005. «Sustainability assessment of new construction technologies: a comparative case study», en Schaur, C., Mazzolani, F., Huber, G., de Matteis, G., Trumpf, H., Koukkari, H., Jaspart, J. P. & Bragança, L. (eds.), Improvement of Buildings' Structural Quality by new Technologies - COST

Figura 11
Evaluación del ciclo de vida

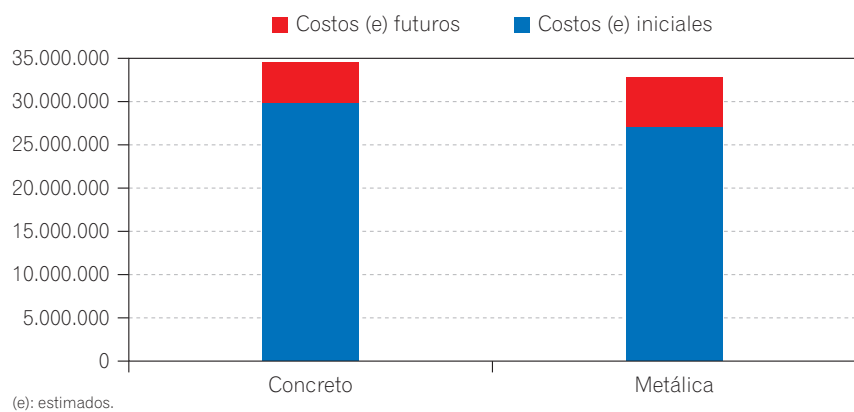
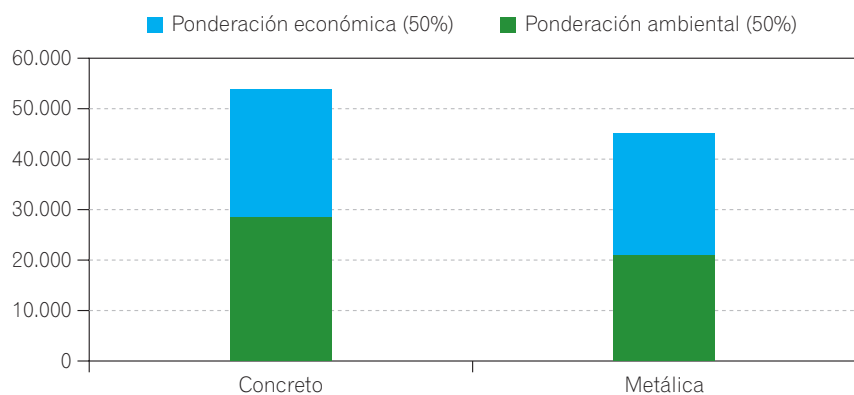


Figura 12
Resultado final



C12 Final Conference Proceedings, Balkema Publishers, Leiden, pp. 527-536.

International Iron and Steel Institute (IISI), 2002. «World Steel Life Cycle Inventory - Methodology Report 1999/2000», Committee on Environmental Affairs.

International Standard 14040, 2006. «Environmental Management - LCA - Principles and Framework».

International Standard 14044, 2006. «Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines.»

Lippiatt, B., 2002. «BEES 3.0 Building for Environmental and Economic Sustainability Technical Manual and User Guide», NISTIR 6916, Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology.

Maydl, P., 2004. «Sustainable Engineering: State-of-the-art and Prospects», Structural Engineering International, Volume 14, 3, p. 176-180. USEPA, 2001. U.S. Environmental Protection Agency and Science Applications International Corporation. LCAccess - LCA 101.