

Gilberto A. Corona Suárez

ORCID: 0000-0002-3940-7153

Carlos E. Arcudia Abad

José H. Loría Arcila

Modelación de los indicadores de construcción sustentable para su evaluación mediante un sistema experto.

Páginas 208-226

En:

Compilación de artículos de investigación (2009).

México: Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, División de Ciencias y Artes para el Diseño, 2009.


ISSN: 2007-7564

Red Académica Internacional UADY, UAM, WPI.

Administración y tecnología para arquitectura, diseño e ingeniería.

0

<p>Universidad Autónoma Metropolitana Casa abierta al tiempo Azcapotzalco</p> <p>Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco https://www.azc.uam.mx</p>	 <p>Ciencias y Artes para el Diseño</p> <p>División de Ciencias y Artes para el Diseño</p> <p>https://www.cyad.online/uam/</p>	<p>Procesos y Técnicas de Realización</p> <p>Departamento de Procesos y Técnicas de Realización</p> <p>http://procesos.azc.uam.mx/</p>
 <p>Administración y Tecnología para el Diseño Investigación</p> <p>Área de Administración y Tecnología para el Diseño</p> <p>https://administracionytecnologiaparaeldiseno.azc.uam.mx/</p>		

	<p>Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como Atribución-NoComercial-SinDerivadas https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/</p>
---	--

© 2009. Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Se autoriza copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato, siempre y cuando se den los créditos de manera adecuada, no puede hacer uso del material con propósitos comerciales, si remezcla, transforma o crea a partir del material, no podrá distribuir el material modificado. Para cualquier otro uso, se requiere autorización expresa de la UAM.

MODELACIÓN DE LOS INDICADORES DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE PARA SU EVALUACIÓN MEDIANTE UN SISTEMA EXPERTO

Gilberto A. Corona Suárez,
Carlos E. Arcudia Abad, y
José H. Loría Arcila¹

Correo: csuarez@tunku.uady.mx
Correo: aabad@tunku.uady.mx

¹ Universidad Autónoma de Yucatán: Facultad de Ingeniería, Av. Industrias No Contaminantes por Periférico Norte S/N, Apdo. Postal 150 Cordemex, Mérida, Yucatán.

RESUMEN

Este trabajo presenta una propuesta para desarrollar un sistema que facilite la evaluación del efecto que tiene el desempeño de los procesos de gestión de proyectos sobre los indicadores de sustentabilidad. Este esfuerzo tiene como primicia la falta de un modelo que integre los principios desarrollo sustentable en la gestión de los proyectos de construcción. Por otro lado, se tiene que aunque el conocimiento sobre desarrollo sustentable ha estado en constante expansión, la construcción sustentable todavía no es una práctica estandarizada. En este sentido, el sistema propone la aplicación de técnicas de modelación, tales como la lógica difusa y los sistemas expertos, para incorporar el conocimiento sobre construcción sustentable a la solución de problemas y toma de decisiones relativas a la implementación de los procesos de gestión que apoyen el logro de metas de sustentabilidad en los proyectos de construcción. Esto incluye aprovechar el conocimiento que existe, en forma explícita o tácita en el contexto académico, industrial e institucional, en la identificación y evaluación de factores e indicadores involucrados en la sustentabilidad de las construcciones. En este trabajo se explica la posible aplicación de este sistema en la evaluación de la sustentabilidad del diseño y la construcción de los proyectos de vivienda construida de manera masiva.

INTRODUCCIÓN

Un componente importante del concepto de desarrollo sustentable es la consideración de las futuras generaciones como partes virtualmente afectadas por el desarrollo de esta infraestructura (WCED, 1987). Myers (2005) ha enfatizado que estas generaciones dependen en regulaciones implantadas por los gobiernos para asegurarles que contarán con oportunidades para su desarrollo, ya que los actuales planeadores y desarrolladores de infraestructura se han mostrado poco motivados para tomarlas en cuenta por si mismos. Eventualmente, dichas regulaciones deberán ser entendidas como una más de las metas de desempeño de los proyectos de construcción. Por otro lado, Du Plessis (2007) ha externado que en los países en vías de desarrollo existe una especial urgencia en el esfuerzo de introducir prácticas de construcción sustentable, ya que en la mayoría de ellos se está experimentando una rápida tasa de urbanización y un acelerado desarrollo de su infraestructura. Sin embargo, tanto Myers como Du Plessis coinciden en

COMPILACIÓN DE ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN OCTUBRE 2009

Red Académica Internacional UADY, UAM, WPI.

que las organizaciones dedicadas a la construcción en estos países deberán primero ajustar su capacidad de gestión para poder cumplir las metas de sustentabilidad y responder a las demandas que los criterios de construcción sustentable incorporarían a sus actividades.

El logro de las metas de desempeño establecidas para los proyectos de construcción es conducido a través de los sistemas de gestión de proyectos implementados en las organizaciones (Bassioni *et al.* 2004). Sin embargo, la evaluación del impacto de la gestión de proyectos sobre el desempeño de los proyectos de construcción, ha sido una materia difícil debido al nivel de incertidumbre involucrado en este proceso. Esto se ha debido principalmente a:

- La complejidad de los proyectos de construcción, lo cual inhibe la evaluación de los factores involucrados en dichos sistemas (Aoieong *et al.* 2002; Tang *et al.* 2004).
- La subjetividad de las variables involucradas en los sistemas de gestión (Eldabi *et al.* 2002; Yasamis *et al.* 2002; Crawford y Vogl, 2006). Por tanto, aunque es indiscutible el efecto de la gestión sobre el desempeño de los proyectos, esto ha sido difícil de verificar con medidas objetivas (Sharma y Gadenne, 2002).

En este orden de ideas, Kibert *et al.* (2000), Pearce y Vanegas (2002a) revelaron que aún hay mucho por hacer en cuanto a hacer operativa la práctica de la construcción sustentable a nivel del proyecto ya que, a pesar de todas las iniciativas y herramientas que han sido desarrolladas, el movimiento de la construcción sustentable escasamente ha logrado la creación de construcciones que pudieran ser consideradas realmente sustentables. También Lombardi y Brandon (2002) coincidieron con los autores anteriores al destacar que las herramientas disponibles no cubren las necesidades individuales de un proyecto y que aun hacía falta una metodología apropiada que facilitara la comprensión de las implicaciones del desarrollo sustentable a los responsables de tomar las decisiones en los proyectos de construcción. Más recientemente, Du Plessis (2007), refiriéndose a los países en vías de desarrollo, señaló que aun hay necesidad de desarrollar ciertos facilitadores que apoyen la introducción de tecnologías y prácticas de construcción sustentable. Aún más, Du Plessis (2007) ha precisado que esto es únicamente posible mediante la provisión de los siguientes facilitadores tecnológicos:

- Tecnología de software, tales como sistemas expertos, modelos de decisión y herramientas basadas en la tecnología computacional e informática; las cuales apoyarían la toma de decisiones, el análisis y la evaluación.
- Conocimiento e información, por ejemplo: bases de datos, estándares e indicadores, parámetros de referencia, guías y manuales, sistemas de conocimiento autóctono.
- El desarrollo y uso de mecanismos y herramientas para la evaluación del desempeño de los procesos administrativos y de producción, como parte de las acciones que se deben tomar para apoyar la activación de la construcción sustentable.

Wetherill et al. (2007) también han destacado que aunque la industria de la construcción hace un esfuerzo por innovar e implementar mejores prácticas, métodos, y materiales, sus metas de sustentabilidad solamente podrán realizarse cuando sus actividades se fundamenten en nuevas fuentes de conocimiento y experticia. Por lo tanto, este proyecto se realizó con el objetivo de desarrollar un sistema que incorpore el conocimiento de expertos de la construcción en la toma de decisiones sobre cómo gestionar el logro de metas de sustentabilidad en proyectos de construcción.

EL CONOCIMIENTO EN LA EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN

Con el propósito de identificar el conocimiento existente sobre construcción sustentable y su evaluación, se revisó y recopiló la información contenida en diversas fuentes bibliográficas impresas y electrónicas. Estas fuentes incluyeron:

a) Publicaciones periódicas especializadas de las cuales se revisaron casi sesenta artículos publicados en revistas periódicas indexadas tales como el *Journal of Construction Engineering and Management*, *Construction Management and Economics*, *International Journal of Environmental Technology and Management*, *Journal of Architectural Engineering*, *Civil Engineering and Environmental Systems* y el *Journal of Performance of Constructed Facilities*.

b) Reportes e informes de organizaciones locales e internacionales dedicadas al desarrollo sustentable, tales como el “Reporte sobre Sustentabilidad” publicado por la revista *Buiding Design & Construction* (Cassidy et al., 2003); el reporte “Edificación Sustentable en América del Norte: Oportunidades y Retos”, elaborado por el Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental (2008); “Indicadores de desarrollo sustentable en México”, elaborado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y el Instituto Nacional de Ecología (2000); “Sustainable development indicators in your pocket 2008: An update of the UK Government Strategy indicators”, elaborado por el *Department for Environment, Food and Rural Affairs* de Inglaterra (2008); “Demonstrations of sustainability: The Rethinking Construction demonstrations and how they have addressed sustainable construction issues”, elaborado por el *Building Research Establishment* y *Rethinking Construction Ltd.* del Reino Unido (DeGeer et al. 2008).

c) Guías, códigos, regulaciones, y especificaciones ambientales que aplican a la construcción, tales como “The Green Guide to Specification” propuesta por la Fundación para la Investigación de la Edificación (BRE por sus siglas en inglés –, 2008); “The HOK Guidebook to Sustainable Design” (Guía HOK para el Diseño Sustentable) propuesta por Mendler et al. (2006); “La Guía de Edificación Sostenible para la Vivienda” elaborada por el Gobierno de la Comunidad Autónoma del País Vasco (EVE et al. 2006); “La Guía de Construcción Sostenible editada por el Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud” de España (Baño Nieva y Vigil-Escalera del Pozo, 2005); el “Estándar Internacional ISO 15392:2008 Sostenibilidad en la construcción de edificios – Principios generales”, emitido

COMPILACIÓN DE ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN OCTUBRE 2009

Red Académica Internacional UADY, UAM, WPI.

por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO por sus siglas en inglés, 2008); la “Guía para la Integración del Diseño Sustentable en las Operaciones de Construcción” preparada para el Departamento de Energía de Estados Unidos (Peterson y Dorsey, 2000); el “Manual Técnico para la Edificación Sostenible” publicado por Public Technology, Inc. (Abraham *et al.*, 1996).

d) Modelos de gestión de proyectos que aplican a la construcción, tales como la “Guía del Conocimiento Colectivo en Gestión de Proyectos de Construcción” formulado por el Instituto para la Gestión de Proyectos (PMI por sus siglas en inglés, 2007); el “Estándar ISO 10006:2003 – Directrices para la Administración de la Calidad en Proyectos”, propuesto por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO por sus siglas en inglés, 2003).

Esta revisión bibliográfica permitió identificar los factores que reiteradamente se mencionan en la evaluación de la sustentabilidad de los proyectos de construcción: los indicadores de sustentabilidad. Los indicadores son cifras o medidas que permiten simplificar la información de un fenómeno complejo en una forma relativamente sencilla de comprender y utilizar (Anon, 2006; ISO/TS 21929-1:2006).

INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN

Los indicadores de sustentabilidad pueden medirse en términos de las cargas o los impactos ambientales, sociales y económicos de un proceso o producto de la construcción, pero también pueden medirse en términos de las consecuencias sobre estas cargas e impactos (ISO/TS 21929-1:2006). Por ejemplo:

- Las emisiones totales de CO₂ son un indicador de cómo los aspectos ambientales de un proceso o producto de la construcción pueden ser medidos en términos de cargas ambientales.
- La contribución al cambio climático en términos de toneladas de CO₂ equivalentes es un indicador de cómo los aspectos ambientales de un proceso o producto de la construcción puede medirse en términos de su impacto ambiental.
- La distancia de un edificio a la parada del transporte público más cercana, es un indicador de consecuencia que puede indicar la influencia del edificio y su localización sobre las cargas ambientales relacionadas con el tráfico (emisiones de CO₂ por ejemplo).

INDICADORES AMBIENTALES

Los indicadores ambientales de un proyecto de construcción expresan los aspectos ambientales de un proceso o producto de la construcción, tanto en términos de cargas como de impactos que afectan el suelo, el agua y el aire; por ejemplo, producción de residuos, olores, ruido y emisiones perjudiciales (ISO/TS 21929-1:2006). Además de los indicadores expresados en términos de cargas y de impactos ambientales, también pueden utilizarse indicadores de consecuencia para describir los aspectos ambientales de un proceso o producto de la construcción. Los indicadores de consecuencia miden de

manera indirecta los aspectos ambientales de dicho proceso o producto mediante alguna característica que influya sobre la cantidad de cargas o impactos ambientales; por ejemplo, el acceso desde un edificio a los servicios que necesitan sus usuarios puede expresar la influencia del uso del edificio en las cargas ambientales relacionadas con el tráfico, ya que el transporte refleja efectos asociados tanto con las emisiones que produce como por consumo de energía.

INDICADORES ECONÓMICOS

Los indicadores económicos expresan los flujos económicos asociados a un proceso o producto de la construcción (ISO/TS 21929-1:2006). La evaluación del impacto económico que puede tener un proceso o producto de la construcción debe basarse en la economía de su ciclo de vida. Por ejemplo, el ciclo de vida de un edificio contempla los siguientes flujos económicos:

- Inversiones: costos asociados con el terreno, planeación, diseño, procuración y construcción necesarios para realizar el edificio,
- Uso: costos de operación del edificio,
- Ingreso que potencialmente generará el edificio durante la vida útil del edificio,
- Mantenimiento y reparación del edificio,
- De construcción y tratamiento de los residuos del edificio al final de su vida útil,
- Desarrollo del valor económico del edificio,
- Las rentas o ingresos generados por el edificio y sus servicios.

INDICADORES SOCIALES

Los indicadores sociales de un proceso o producto de la construcción son utilizados para describir cómo es la interacción entre éste y los aspectos de sustentabilidad que le preocupan a una comunidad (ISO/TS 21929-1:2006). Por ejemplo, los aspectos sociales que son relevantes en el nivel comunitario (ciudad, vecindario, etc.) pueden incluir la mezcla de diferentes grupos sociales, el uso mixto del suelo, la accesibilidad a servicios básicos tales como el transporte público, la disponibilidad de áreas verdes, el atractivo de su centro histórico, el desarrollo de zonas contaminadas o degradadas, la disponibilidad de la vivienda, la segregación social, la calidad de la cultura y la protección de la herencia cultural, la seguridad, la tranquilidad, y la calidad del aire, entre muchas otros. Sin embargo, los aspectos sociales también pueden ser tratados al nivel de un edificio, incluyendo aspectos tales como la calidad del edificio como lugar para vivir y trabajar, las afectaciones a la salud y la seguridad de los usuarios debidas al propio edificio, la accesibilidad a los servicios que necesitan los usuarios, la satisfacción de los usuarios, la calidad arquitectónica del edificio, y la protección del patrimonio cultural.

SISTEMAS DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD

Diferentes sistemas de indicadores han sido propuestos por organismos internacionales para evaluar la sustentabilidad de los procesos y productos de la construcción. Generalmente, los sistemas de indicadores que han sido formulados para la construcción se enfocan en alguno de los aspectos (ambiental, económico, o social) de sustentabilidad de los procesos o productos de la construcción. Por ejemplo, el Building Research Establishment (BRE, 2008) ha desarrollado una diversidad de metodologías y herramientas para la evaluación de los aspectos ambientales, sociales y económicos de los procesos y productos de la construcción. Una de sus metodologías más difundidas es su Metodología de Perfiles Ambientales para evaluar la sustentabilidad ambiental de los materiales de construcción, la cual incluye la evaluación de trece categorías de impacto ambiental:

Cambio climático: se refiere al cambio en la temperatura global causado por la descarga de gases de efecto invernadero tales como el dióxido de carbono generado por las actividades humana. Se piensa que el incremento en la temperatura global causará disturbios climáticos, desertificación, incremento en los niveles de los océanos y propagación de enfermedades. El MPA sugiere medir esta categoría en términos del efecto de un kilogramo equivalente de CO₂ sobre el potencial de calentamiento global en un horizonte de 100 años.

Extracción de agua: alrededor del mundo, el agua se está convirtiendo en un recurso escaso debido al incremento en su demanda y a cambios en los patrones de las lluvias. Para reconocer el valor del agua como recurso vital, así como el daño que puede causar la sobreexplotación de ríos y acuíferos, esta categoría establecida por el BRE incluye todo tipo de agua extraída, excepto el agua de mar, el agua extraída para enfriamiento o generación de electricidad y que es regresada a la misma fuente sin cambios en su calidad, el agua almacenada en lagos de retención para recirculación, así como el agua de lluvia recolectada para almacenamiento. Esta categoría es medida en términos de metros cúbicos (m³) de agua extraída.

Extracción de recursos minerales: esta categoría de impacto está relacionada al consumo de todo tipo de material mineral virgen, por ejemplo: la extracción de agregados pétreos, menas y minerales. El consumo de tales materiales puede significar su agotamiento y, por lo tanto, que futuras generaciones no los tendrán disponibles para su uso. Incluye todo material que es excavado o dragado del suelo. Sin embargo, este indicador se refiere solamente al consumo mismo del recurso extraído, sin considerar otros impactos ambientales asociados con su extracción, tales como los efectos de la minería y la explotación de canteras, ó la relativa escasez de este tipo de recurso. Esta categoría es medida en toneladas de mineral extraído.

Agotamiento del ozono estratosférico: todos los gases compuestos a base de cloro y bromo que alcanzan la estratósfera pueden causar daño al ozono estratosférico o a la capa de ozono. Los clorofluocarbonos (CFCs), los halógenos y los hidroclorofluocarbonos (HCFCs) son los principales causantes del agotamiento del ozono en la estratósfera, lo cual reduce la capacidad de la capa de ozono de prevenir la entrada de rayos ultravioleta a la atmósfera de la tierra y hace aumentar la cantidad de rayos carcinogénicos sobre la superficie de la Tierra. Esta categoría se mide en términos del potencial efecto de un kilogramo equivalente de clorofluocarbono-11 (CFC-11) en la destrucción de ozono.

Toxicidad humana: la emisión de ciertas sustancias, tales como los metales pesados, pueden afectar la salud humana. Los exámenes de esta toxicidad se basan en las concentraciones de dichos metales en el aire y agua que son tolerables para la salud humana. El potencial de toxicidad humana de cada sustancia tóxica en un horizonte de tiempo infinito es expresado en términos de kilogramos equivalentes de 1,4-diclorobenceno vertidos en la atmósfera. Esta categoría no cubre la calidad del aire en interiores y su efecto en la salud humana.

Ecotoxicidad del agua dulce y la tierra: la toxicidad ambiental es medida con dos categorías de impacto separadas que respectivamente examinan el agua dulce y la tierra. La emisión de ciertas sustancias, tales como los metales pesados, pueden tener consecuencias sobre el ecosistema. La evaluación de esta toxicidad se basa en el máximo de concentraciones de sustancias tóxicas en el agua que un ecosistema puede tolerar y su medición es expresada en términos de kilogramos equivalentes de 1,4-diclorobenceno vertidos en el agua. Los impactos de sustancias tóxicas deben medirse de manera separada en los ecosistemas acuáticos de agua dulce y los ecosistemas terrestres.

Residuos nucleares: la radioactividad puede causar daños serios a la salud humana y, pesar de eso, todavía no existe un tratamiento o una solución permanentemente segura de almacenamiento para los residuos con altos niveles de radioactividad, tales como los generados por las plantas nucleares de generación de electricidad. Tales residuos necesitan almacenarse por períodos de 10,000 años o más antes de que su radioactividad alcance niveles seguros. La Asociación Nuclear Mundial establece que los residuos nucleares con niveles altos de radioactividad (residuos de nivel intermedio y alto) representan un porcentaje muy bajo del volumen total (alrededor del 10%), pero que sin embargo contienen un 99% de la radioactividad total generada por la industria nuclear. Por lo tanto, esta categoría es medida en términos de mm^3 de desperdicio radioactivo de nivel alto e intermedio.

Eliminación de residuos: esta categoría representa los problemas ambientales asociados con la pérdida de recursos que implica la disposición final de residuos. BRE utiliza una medida absoluta basada en la masa de cualquier residuo que sea dispuesto en un vertedero o incinerado. Esta categoría es medida en términos de toneladas de residuos sólidos, de este modo refleja la pérdida de recurso que es eliminado como residuo correspondientes (en contraste con el reciclado o reutilización del recurso), no

COMPILACIÓN DE ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN OCTUBRE 2009

Red Académica Internacional UADY, UAM, WPI.

incluye otros impacto asociados con los vertederos de basura o la incineración tales como las emisiones de la descomposición de los residuos, la masa de los residuos (en toneladas) es utilizada como una medida aproximada de la pérdida de recursos, incluye los residuos enviados al incinerador y a los vertederos de basura ó cualquier otra forma de disposición final, tales como rellenos sanitarios o vertederos marinos, y no considera la diferencia entre residuos tóxicos, no tóxicos, inertes u orgánicos.

Agotamiento de combustibles fósiles: la categoría de impacto que es representada por este indicador se refiere al uso de combustibles fósiles. Estos combustibles fósiles proveen una valiosa fuente de energía y materia prima para la fabricación de materiales tales como los plásticos. Sin embargo, estos son un recurso finito o no renovable, por lo que su continuo consumo resultará en su indisponibilidad para ser usado por futuras generaciones. BRE utiliza una medida absoluta basada en el contenido de energía del combustible fósil. Aunque esta medida no toma en cuenta la escasez relativa de los diferentes combustibles fósiles, en realidad la variación entre el carbón (el más común) y el gas (el más escaso) es de solamente un 17%. El factor de caracterización es medido en toneladas equivalentes de petróleo.

Eutrofización: los nitratos y fosfatos son esenciales para la vida, pero el aumento de su concentración en el agua puede alentar el crecimiento excesivo de algas y reducir el oxígeno en el agua. La eutrofización puede por lo tanto ser definida como el sobre-enriquecimiento del agua en ríos, lagos, acuíferos, etc. y su acontecimiento puede generar daños a los ecosistemas, incrementando la mortalidad de la fauna acuática y la flora, así como la pérdida de especies que dependen de ambientes con nutrientes bajos. Todas las emisiones de amoniaco, nitratos, óxidos de nitrógeno y fósforo al aire y al agua tienen un impacto en la eutrofización. El potencial de eutrofización se expresa en términos de kilogramos equivalentes de fosfato (PO_4), e incluye los impactos directos e indirectos de fertilizantes. Los impactos directos generados por la producción de los fertilizantes y los indirectos son calculados mediante la estimación de emisiones al agua que causan eutrofización.

Producción de ozono fotoquímico: en atmósferas que contienen óxidos de nitrógeno y compuestos volátiles orgánicos, el ozono puede generarse en la presencia de la luz del sol. Aunque el ozono es crítico en la capa superior de la atmósfera para protegernos de los rayos ultravioleta, su presencia en las capas bajas esta implicado en impactos tan diversos como daños a los cultivos y el incremento en los casos de asma y otras complicaciones respiratorias. El potencial de generación de ozono fotoquímico por las emisiones de sustancias al aire es expresado utilizando kilogramos equivalentes de etileno (C_2H_4) como unidad de referencia.

Acidificación: los gases ácidos tales como el dióxido de sulfuro (SO_2) reaccionan con el agua en la atmósfera para formar "lluvia ácida" mediante un proceso conocido sedimentación ácida. Cuando esta lluvia cae, generalmente a una distancia considerable de la fuente original del gas, causa diferentes niveles de deterioro en el ecosistema,

dependiendo de la naturaleza del terreno. Los gases que causan la sedimentación ácida incluyen el amoníaco, el óxido de nitrógeno y el óxido de sulfuro. El potencial de acidificación es expresado en kilogramos equivalentes de SO₂ como unidad de referencia y su medición solamente considera la acidificación causada por el dióxido de nitrógeno y el dióxido de sulfuro.

Otros sistemas de indicadores y metodologías de evaluación, tales como los propuestos como parte del sistema LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*) desarrollado por el Consejo para la Edificación Verde de los Estados Unidos (USGBC, 2009), fueron revisados. Sin embargo, también se encontró que otro aspecto relevante que se considera en la evaluación de la sustentabilidad de los procesos y productos de la construcción son las prácticas implementadas para procurar la sustentabilidad de dichos procesos y productos. La literatura se refiere a estas prácticas como factores que afectan el logro de metas de sustentabilidad.

FACTORES QUE DETERMINAN LOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD

Al revisar la bibliografía disponible sobre factores que directa o indirectamente determinan los indicadores de sustentabilidad, se encontró una cantidad significativa de prácticas que han sido recomendadas por diferentes organismos internacionales y que incluso ya han sido implementadas por medio de estándares y reglamentos de construcción en las respectivas regiones o países para los que fueron establecidos. Especial atención debe darse al Código para Viviendas Sustentables emitido por el Departamento para las Comunidades y el Gobierno Local de Inglaterra (*Communities and Local Government*, 2008), así como la Guía de Edificación Sostenible para la Vivienda en la Comunidad Autónoma del País Vasco (Ente Vasco de la Energía *et al.* 2006).

El Código para Viviendas Sustentables (*Communities and Local Government*, 2008) fue introducido en Inglaterra en abril de 2007 después de consultar extensamente con grupos ambientalistas y de las industrias de la construcción y de la edificación de viviendas. Este código es un estándar voluntario diseñado para mejorar la sustentabilidad global en la construcción de viviendas nuevas por medio del establecimiento de un esquema dentro del cual la industria de la construcción de viviendas pueda diseñar y construir viviendas con altos estándares ambientales. De manera práctica, este código evalúa la sustentabilidad de una vivienda tomando en cuenta nueve categorías de diseño, en base a las cuales valora toda la vivienda como una entidad completa. Estas nueve categorías de diseño son: energía y emisiones de CO₂, agua, materiales, escorrentía superficial, residuos, contaminación, salud y bienestar, gestión, y ecología. Cada una de estas categorías incluye un cierto número de buenas o mejores prácticas ambientales que tienen un impacto potencial en el medio ambiente y que técnicamente son factibles de implementarse en la industria de la construcción de viviendas. Los siguientes son algunos ejemplos de las prácticas asociadas a cada una de estas categorías:

Energía y emisiones de CO₂:

COMPILACIÓN DE ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN OCTUBRE 2009

Red Académica Internacional UADY, UAM, WPI.

Envolvente aislante del edificio: Preparar la eficiencia energética para toda la futura vida útil de las viviendas por medio del impedimento de pérdidas de calor/frío a través del revestimiento del edificio.

Tecnologías de baja o cero emisiones de carbono: Reducir las emisiones de carbono y la contaminación atmosférica mediante el impulso de la generación local de energía a partir de fuentes renovables para proveer una proporción significativa de la demanda de energía.

Agua:

Consumo interno de agua: Reducir el consumo de agua potable en el hogar. La cantidad de agua potable utilizada en una vivienda puede ser reducida con el uso de accesorios que reducen el consumo de agua en inodoros, llaves de lavabo y regaderas.

Consumo externo de agua: Promover el reciclaje del agua de lluvia y reducir la cantidad agua potable entubada utilizada en el exterior de la vivienda.

Materiales:

Extracción responsable de materiales para los elementos básicos del edificio: Reconocer y promover las especificaciones relacionadas con la extracción responsable de los materiales utilizados en los elementos básicos de edificación.

Extracción responsable de materiales para los acabados del edificio: Reconocer y promover las especificaciones relacionadas con la extracción responsable de los materiales utilizados en los acabados de la edificación.

Escorrentía superficial:

Administración de la escorrentía superficial en desarrollos de viviendas: Diseñar desarrollos de viviendas que eviten, reduzcan y retrasen las descargas del agua de lluvia a los drenajes públicos y canales naturales o artificiales de agua.

Riesgo de inundaciones: Promover el desarrollo de viviendas en áreas con bajo riesgo de inundaciones, o tomar medidas para reducir el impacto de las inundaciones en las viviendas construidas en áreas con un nivel de riesgo de inundaciones medio o alto.

Residuos:

Almacenamiento de residuos domésticos no reciclables y residuos reciclables: Proveer de espacios adecuados en el interior y exterior de las viviendas para el almacenamiento de residuos domésticos reciclables y no reciclables.

Compostaje: Proveer las instalaciones en la viviendas para hacer composta a partir de los residuos domésticos, con el fin de reducir la cantidad de residuos domésticos mandados a los vertederos de basura o rellenos sanitarios.

Contaminación

Potencial de calentamiento global de los aislantes: Reducir el calentamiento global generado por las emisiones que se originan de la manufactura, instalación, uso y disposición de materiales para aislamiento térmico y acústico.

Emisiones de N_{Ox} : Reducir la emisión de óxidos de nitrógeno a la atmósfera. Los calentadores en los sistemas de calefacción domésticos son una fuente importante de N_{Ox} arrojados a los niveles bajos de la atmósfera, mientras que las estaciones eléctricas (y por lo tanto los sistemas de calefacción eléctricos) son fuentes importantes de N_{Ox} en la parte alta de la atmósfera.

Salud y bienestar

Iluminación natural: Proveer de iluminación natural apropiada para mejorar la calidad de vida en las viviendas y reducir la necesidad de energía para iluminarlas.

Aislamiento acústico: Proveer de aislamiento acústico mejorado a las viviendas para reducir la posibilidad de quejas por ruido de los vecinos.

Administración

Instructivos para los usuarios de las viviendas: Proveer de instrucciones que permitan a los propietarios/ocupantes entender y operar sus viviendas eficientemente y hacer el mejor uso de las instalaciones.

Seguridad: Diseñar desarrollos de viviendas donde la gente se sienta segura y a salvo; donde el crimen y el desorden, o el miedo al crimen, no mine la calidad de vida o la cohesión de la comunidad.

Ecología

Valor ecológico del sitio: Concebir los desarrollos de viviendas en terrenos que ya tengan escasa vida silvestre y evitar los desarrollos en lugares ecológicamente valiosos o que sean reservas ecológicas.

Protección de las características ecológicas: Proteger las características ecológicas de sustanciales daños durante la limpieza del terreno y la realización de los trabajos de construcción.

Por otro lado, la Guía de Edificación Sostenible para la Vivienda en la Comunidad Autónoma del País Vasco recoge una extensa relación de buenas prácticas aplicables a la construcción de edificios de viviendas a lo largo de todo su ciclo de vida. La Guía clasifica estas buenas prácticas en función de diferentes variables con el fin de facilitar la consulta de las mismas. De esta manera, estas buenas prácticas aparecen clasificadas de acuerdo a: los agentes implicados en la implementación de la medida (administradores, promotores, equipo facultativo, contratista, fabricantes y encargados del mantenimiento); etapas del proceso de realización del proyecto (planificación urbanística, diseño, construcción, uso y mantenimiento, y disposición final); partidas de

COMPILACIÓN DE ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN OCTUBRE 2009

Red Académica Internacional UADY, UAM, WPI.

trabajo (trabajos previos y movimiento de tierras, cimentación y estructura, cubiertas, etc.); y categorías de impacto ambiental (materias, energía, agua potable, atmósfera, calidad del aire interior, residuos, uso del suelo, transporte, y ecosistemas). De todas estas maneras de clasificar las prácticas, el criterio basado en las etapas del proceso de realización del proyecto se pensó más relevante para el presente proyecto. Algunos ejemplos de prácticas asociadas a cada una de estas etapas incluyen:

Planificación urbanística: Proporcionar sistemas de alcantarillado separados para las aguas pluviales y las aguas residuales.

Diseño: Revisar que el diseño garantice una ventilación mínima y que favorezca la ventilación natural cruzada.

Construcción: Estudiar los movimientos de personal, vehículos y materiales que van a tener lugar durante la construcción a fin de minimizar los procesos de transporte.

Uso y mantenimiento: Desarrollar y aplicar un plan de mantenimiento regular de las instalaciones del edificio.

Disposición final: Planificar y gestionar los procesos de reconstrucción y demolición de modo que impliquen el mínimo impacto y las mínimas molestias al entorno.

Modelo conceptual

En base a lo aprendido con la revisión de la bibliografía sobre construcción sustentable, se ha establecido un modelo conceptual que representa la manera en que se logra la sustentabilidad de los proyectos de construcción. Este modelo intenta integrar el abundante conocimiento que se ha recopilado sobre construcción sustentable en guías, códigos, estándares y reportes emitidos por organismos de varios países. De este modo, se llegó a la conclusión de que son las prácticas administrativas y operativas implementadas en el nivel del proyecto las que tienen mayor impacto en el desempeño de los indicadores de sustentabilidad. También se consideró lo siguiente:

1. Los indicadores de sustentabilidad deben expresar los aspectos ambientales, sociales y económicos de los procesos o productos de la construcción (ISO/TS 21929-1:2006). La literatura revisada se refiere a esto de manera invariable y por lo tanto, la integración de indicadores correspondientes a estas tres categorías se ha considerado indispensable.
2. Las prácticas en el nivel operativo de un proyecto son las que directamente determinan el desempeño de los diferentes indicadores de sustentabilidad y por lo tanto, el logro de una construcción sustentable. Aún más, para evaluar de manera integral el

desempeño de los indicadores de sustentabilidad en los proyectos de construcción, es necesario considerar el ciclo de vida de estos proyectos (ISO 14044:2006; ISO 14042:2000). Por lo tanto, en la integración del modelo se han tomado en cuenta las etapas del ciclo de vida de los proyectos de construcción que tienen un papel principal en el desempeño de los indicadores y que para este caso son las etapas de pre-diseño, diseño y construcción:

- Pre-diseño: en esta etapa se concreta la configuración del entorno a urbanizar, fijándose la posición de los edificios y tomando decisiones acerca de sus características físicas, de su relación con los espacios públicos, con la infraestructura existente y que será necesario crear, así como con otros edificios. Esta etapa es clave para desarrollar las siguientes etapas ya que definirá premisas básicas de obligado cumplimiento que tendrán importantes repercusiones medioambientales.
 - Diseño: es un paso clave en el proyecto ya que las decisiones tomadas en esta etapa van a tener importantes repercusiones ulteriores. En esta guía el diseño contempla el anteproyecto, el proyecto básico y el proyecto de ejecución.
 - Construcción: constituye la ejecución del proceso constructivo, el cual supone una cierta duración temporal y de que se realice adecuadamente va a depender que el edificio tenga las prestaciones previstas en el diseño. También durante esta etapa se van a encontrar un gran número de actividades, como la gestión de residuos, que por sí mismas van a tener repercusiones medioambientales.
3. Las prácticas administrativas implementadas como parte del sistema de gestión de un proyecto, facilitan o inhiben la implementación de las buenas prácticas operativas para el logro de una construcción sustentable (Mendler *et al.* 2006). Estas prácticas también deberán ser integradas en el modelo.

De acuerdo a lo anterior, la Figura 1 muestra el modelo conceptual bajo el cual se construirá el sistema propuesto en este trabajo de investigación.



Figura 1. Modelo conceptual del sistema propuesto

COMPILACIÓN DE ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN OCTUBRE 2009

Red Académica Internacional UADY, UAM, WPI.

Más que proponer un nuevo modelo o herramienta, este proyecto de investigación pretende integrar el conocimiento documentado en fuentes bibliográficas y el de expertos en construcción sustentable, con el fin de hacer más operable dicho conocimiento en la toma de decisiones sobre la manera más efectiva de lograr objetivos y metas de sustentabilidad en proyectos de construcción de viviendas. Con dicho fin, se han analizado diferentes técnicas de modelación, tales como los sistemas expertos, sistemas difusos y la lógica difusa, ya que actualmente se consideran como las técnicas más ortodoxas para integrar el conocimiento que es impreciso y subjetivo en la solución de un problema (Bojadziev y Bojadziev, 1997). En base a este análisis, se ha seleccionado una técnica para el desarrollo de un sistema que sea capaz de estimar los indicadores de sustentabilidad en un proyecto, dados los niveles de implementación de las prácticas de construcción sustentable y de los procesos de gestión de los proyectos. En este caso, se decidió desarrollar un sistema experto basado en reglas ya que permiten, según Abraham (2005), utilizar el conocimiento humano para resolver problemas de la vida real que generalmente requerirían inteligencia humana para ser resueltos.

En la decisión de explorar la aplicación de los sistemas expertos en la solución del problema se tomaron en cuenta las características que debía tener el sistema de evaluación. Una de las características que principalmente se desean en los sistemas de diagnóstico es el de obtener un resultado de manera oportuna (Dissanayake y Robinson, 2008). Maloney (1990) ha argumentado que es crucial el responder de manera pronta ante las evidencias de un bajo desempeño, mediante la toma oportuna de acciones correctivas para eliminar las causas que lo ocasionan. Por otro lado, otra característica que deben tener los sistemas de diagnóstico es la de poder identificar la raíz de las causas que explican un resultado (Dissanayake y Robinson, 2008). Una identificación temprana de la raíz de las causas es una tarea clave en la solución de problemas o el control en un proyecto de construcción. Sin embargo, debido a la naturaleza compleja de este tipo de proyectos y al corto tiempo de los procesos constructivos, cuando se obtiene la información necesaria para mejorar el desempeño de una actividad, ésta ya se encuentra concluida en la mayoría de los casos (Maloney, 1990). La transparencia es otra característica primordial deseada en cualquier sistema de diagnóstico. En general la transparencia se refiere a la capacidad de encontrar el proceso para inferir una solución para mejorar el desempeño de un indicador clave (Dissanayake y Robinson, 2008). Esta capacidad para encontrar el proceso de inferir una solución se espera que sea cuando menos a un nivel que permita identificar la relevancia de cada variable que posiblemente impacte el desempeño de los indicadores en cuestión. Finalmente, otra característica que se espera posea un sistema de diagnóstico es la capacidad para representar el conocimiento de manera estructurada y ordenada, lo cual facilitaría su preservación para futuras aplicaciones (Dissanayake y Robinson, 2008). Los sistemas basados en reglas tienen una alta capacidad para manejar de manera estructurada el conocimiento disponible sobre un problema mediante reglas condicionales del tipo SI (premisa) – ENTONCES (conclusión) que permiten procesarlo por medio de métodos estandarizados de ingeniería del conocimiento.

Un sistema basado en conocimiento es en esencia un sistema basado en reglas cuya fuente de experticia es obtenida tanto a través del conocimiento de expertos como del conocimiento explícito o que ha sido documentado (Turban y Aronson, 2001). Los sistemas expertos recopilan fragmentos de conocimiento humano dentro de una base de conocimiento, la cual es utilizada para resolver un problema, usando el conocimiento que es adecuado; siendo su principal ventaja su capacidad para resolver diferentes problemas utilizando la misma base de conocimiento sin la necesidad de esfuerzos de reprogramación (Abraham, 2005). Este conocimiento debe ser representado en forma de reglas de tipo if (premisa) – then (conclusión) dentro de una computadora, con el fin de resolver problemas complejos del mundo real que normalmente requerirían de la inteligencia humana (Abraham, 2005). A continuación se resumen las principales ventajas que tienen los sistemas expertos basados en reglas (Abraham, 2005):

- Adquiere y preserva conocimiento irremplazable de los expertos.
- Sistema más consistente que los expertos humanos.
- Minimiza la necesidad del uso de expertos en una locación al mismo tiempo.
- Relativamente fácil de aplicar.
- Se puede realizar un diagnóstico de causas debido a la alta capacidad de transparencia que posee.
- Tiene la capacidad utilizar datos cualitativos así como cuantitativos.
- Tienen la capacidad de representar el conocimiento de una manera estructurada.

El procedimiento para generar las reglas de inferencia es uno de los pasos más importantes en la integración del sistema experto debido a que la base de las reglas representan el razonamiento y mecanismo lógico del sistema (Shaheen, 2005). En este proyecto de investigación se adoptará la metodología propuesta por Shaheen (2005) para desarrollar la base de reglas del sistema bajo análisis, siendo su principal característica la incorporación del efecto de la importancia relativa de los factores dentro de un bloque de reglas, así como, el impacto del estado específico de un factor. Estas características hacen de esta metodología un enfoque objetivo para definir la parte consecuente de las reglas de inferencia generadas en el sistema.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Este trabajo presenta una propuesta para desarrollar un sistema que facilite la evaluación del efecto que tiene el desempeño de los procesos de gestión de proyectos sobre los indicadores de sustentabilidad. Este esfuerzo tiene como primicia la falta de un modelo que integre los principios desarrollo sustentable en la gestión de los proyectos de construcción. Por otro lado, se tiene que aunque el conocimiento sobre desarrollo sustentable ha estado en constante expansión, la construcción sustentable todavía no es una práctica estandarizada. En este sentido, este sistema propone la aplicación de técnicas de modelación, tales como la lógica difusa y los sistemas expertos, para incorporar el conocimiento sobre construcción sustentable a la solución de problemas y toma de decisiones relativas a la implementación de los procesos de gestión que apoyen el logro de metas de sustentabilidad en los proyectos de construcción. Esto incluye aprovechar el conocimiento que existe, en forma explícita o tácita en el contexto

COMPILACIÓN DE ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN OCTUBRE 2009

Red Académica Internacional UADY, UAM, WPI.

académico, industrial e institucional, en la identificación y evaluación de factores e indicadores involucrados en la sustentabilidad de las construcciones. También se plantea la aplicación de este sistema en la evaluación de la sustentabilidad de las diferentes etapas del ciclo de vida de los proyectos de vivienda construida de manera masiva, tales como la planeación, el diseño, la procuración y construcción, el mantenimiento y la disposición final del producto del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- Abraham, A. (2005). "Rule-based Expert Systems", *Handbook of Measuring System Design*, editado por Peter H. Sydenham y Richard Thorn, John Wiley & Sons, pp. 909-919.
- Abraham, L. E., Agnello, S., Ashkin, S. P., Bernheim, A., Bisel, C. C., Burke, W., Dines, N. T., Ferguson, B. K., Goldberger, D. J., Gottfried, D. A., Heiber, G., Hescong, L., Jessup, P., Lippiatt, B., Longman, J. D., Longman, J. D., Meadows, D., Myers, M., Reed, W. G., Rousseau, D., Sorvig, K. y Tshudy, J. A. (1996). *Sustainable Building Technical Manual: Green Building Design, Construction, and Operations*, Estados Unidos: Public Technology, Inc.
- Aoieong, R. T., S. L. Tang y S. M. Ahmed (2002), "A process approach in measuring quality costs of construction projects: model development", *Construction Management and Economics*, Vol. 20, No. 2, pp. 179-192.
- Asprey, L. (2004). "Information strategies: Are we aligning the business case with enterprise planning?" *Rec. Manage. J.*, Vol. 14, No. 1, pp. 7-13.
- Austin Green Builder Program (2008). *A Sourcebook for Green and Sustainable Building*, <http://www.greenbuilder.com> (consultado el 5 de junio de 2008).
- Baño Nieva, Antonio y Vigil-Escalera del Pozo, Alberto (2005). *Guía de Construcción Sostenible*, España: Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud.
- Bassioni, H. A., A. D. F. Price, y T.M. Hassan (2004). "Performance Measurement in Construction", *Journal of Management in Engineering*, Vol. 20, No. 2, pp. 42-50.
- Bojadziev, G. y M. Bojadziev (1997). *Fuzzy logic for business, finance, and management*, Advances in Fuzzy Systems— Applications and Theory Vol. 12, Singapore: World Scientific.
- Bourdeau, L. (ed.) (1999). *Agenda 21 on Sustainable Construction*, CIB Report Publication 237, Rotterdam: International Council for Research and Innovation in Building and Construction.
- BRE – Building Research Establishment (2007). *BREEAM: BRE Environmental Assessment Method*, <http://www.breeam.org> (consultado el 6 de junio de 2008).
- BRE – Building Research Establishment (2008). *The Green Guide to Specification*, <http://www.thegreenguide.org.uk/index.jsp> (consultado el 6 de junio de 2008).
- Brown, A. y J. Adams (2000). "Measuring the effect of project management on construction outputs: a new approach", *International Journal of Project Management*, Vol. 18, pp. 327-335.
- Carter, K. y C. Fortune (2007). "Sustainable development policy perceptions and practice in the UK social housing sector", *Construction Management and Economics*, Vol. 25, No. 4, pp. 399 – 408.

- CIB – International Council for Building Research Studies and Documentation (1998). *Sustainable Development and the Future of Construction: A Comparison of Visions from Various Countries*, CIB Publication 225, W82 – Future Studies in Construction, Rotterdam, The Netherlands.
- CIB – International Council for Research and Innovation in Building and Construction (2004). *50 Years of International Cooperation to Build a Better World*, CIB, Rotterdam, The Netherlands.
- Comisión para la Cooperación Ambiental (2008). *Edificación Sustentable en América del Norte: Oportunidades y Retos*, Montreal, Canadá: Comisión para la Cooperación Ambiental.
- Communities and Local Government (2008). *The Code for Sustainable Homes: Setting the standard in sustainability for new homes*, Londres: Communities and Local Government Publications.
- Crawford, P. y B. Vogl, (2006). “Measuring productivity in the construction industry”, *Building Research & Information*, Vol. 34, No. 3, pp. 208-219.
- DeGeer, B., Ford, J., Innes, S. y Sargant, H. (2008). *Demonstrations of sustainability: The Rethinking Construction demonstrations and how they have addressed sustainable construction issues*, Londres, Reino Unido: Building Research Establishment y Rethinking Construction Ltd.
- Department for Environment, Food and Rural Affairs (2008). *Sustainable development indicators in your pocket 2008: An update of the UK Government Strategy indicators*, Londres, Reino Unido.
- Du Plessis, Christina Du (2007). “A strategic framework for sustainable construction in developing countries”, *Construction Management and Economics*, Vol. 25, No. 1, pp. 67-76.
- Eldabi, T., Z. Irani, R.J. Paul, y P.E.D. Love (2002). “Quantitative and qualitative decision-making methods in simulation modelling”, *Management Decision*, Vol. 40, No. 1/2, pp. 64-73.
- Ente Vasco de la Energía, Sociedad Pública de Gestión Ambiental, Centro de Gestión del Suelo, Vivienda y Suelo de Euskadi, S.A., Departamento de Vivienda y Asuntos Sociales del Gobierno Vasco, con la colaboración de Labein (2006). *Guía de edificación sostenible para la vivienda en la Comunidad Autónoma del País Vasco*, Euskadi, País Vasco, España.
- Fellows, R. y A. Liu (2003). *Research Methods for Construction*, 2nd Edition, India: Blackwell Science.
- Gobierno de la Comunidad Autónoma del País Vasco (2006). *Guía de edificación sostenible para la vivienda en la Comunidad Autónoma del País Vasco*, Euskadi, País Vasco, España: Ente Vasco de la Energía, Sociedad Pública de Gestión Ambiental, Centro de Gestión del Suelo, Vivienda y Suelo de Euskadi, S.A., Departamento de Vivienda y Asuntos Sociales del Gobierno Vasco, con la colaboración de Labein; Traducción: Elhuyar.
- Hill, R.C. y P.A. Bowen (1997). “Sustainable construction: principles and a framework for attainment”, *Construction Management and Economics*, Vol. 15, pp. 223-239.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y el Instituto Nacional de Ecología (2000). *Indicadores de desarrollo sustentable en México*, México, D.F.:

COMPILACIÓN DE ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN OCTUBRE 2009

Red Académica Internacional UADY, UAM, WPI.

- ISO – International Organization for Standardization (2003). *Quality management systems – Guidelines for quality management in projects*, International Standard ISO 10006:2003, ISO, Ginebra, Suiza.
- ISO – International Organization for Standardization (2004). *Environmental management systems – Requirements with guidance for use*, International Standard ISO 14001:2004, ISO, Ginebra, Suiza.
- ISO – International Organization for Standardization (2006). *Sustainability in building construction– General principles*, Draft International Standard ISO DIS 15392, ISO, Ginebra, Suiza.
- ISO 14042:2000 – *Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle impact assessment*, Ginebra, Suiza: International Organization for Standardization.
- ISO 14044:2006 – *Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*, Ginebra, Suiza: International Organization for Standardization.
- ISO 15392:2008 – *Sustainability in building construction – General principles*, Ginebra, Suiza: International Organization for Standardization.
- Kibert, C.J., J. Sendzimir, y B. Guy (2000). “Construction ecology and metabolism: natural system analogues for a sustainable built environment”, *Construction Management and Economics*, Vol. 18, No. 8, pp. 903–916.
- Langford, D.A., H. El-Tigani y M. Marosszeky (2000). “Does quality assurance deliver higher productivity?”, *Construction Management and Economics*, Vol. 18, pp. 775–782.
- Lombardi, P. L. y P. S. Brandon (2002). “Sustainability in the built environment: a new holistic taxonomy of aspects for decision making”, *International Journal of Environmental Technology and Management*, Vol. 2, No. 1/2/3, pp. 22–37.
- Marín, R. (2000), “Cuantificación, tipificación y determinación del origen de desperdicios en la construcción masiva de vivienda”, Tesis Inédita, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México.
- Mendler, S., Odell, W. y Lazarus, M. A. (2006). *The HOK Guidebook to Sustainable Design*, Segunda edición, New York, NY: John Wiley & Sons.
- Mendler, S.F. y W. Odell (2000). *The HOK Guidebook to Sustainable Design*, New York, NY: John Wiley & Sons.
- Myers, D. (2005). “A review of construction companies’ attitudes to sustainability”, *Construction Management and Economics*; Vol. 23, No. 8, pp. 781-785.
- Myers, Danny (2005). “A review of construction companies’ attitudes to sustainability”, *Construction Management and Economics*; Vol. 23, No. 8, pp. 781-785.
- Ofori, G. (1998). “Sustainable construction: principles and a framework for attainment – comment”, *Construction Management and Economics*, Vol. 16, No. 2, pp. 141-145.
- Pearce, A. R. y J. A. Vanegas (2002a). Defining sustainability for built environment systems: an operational framework, *Int. J. Environmental Technology and Management*, Vol. 2, No. 1/2/3, pp. 94-113.
- Pearce, A. R. y J. A. Vanegas (2002b). A parametric review of the built environment sustainable literature, *Int. J. Environmental Technology and Management*, Vol. 2, No. 1/2/3, pp. 55-93.

- Peterson, K. L. y Dorsey, J. A. (2000). *Roadmap for Integrating Sustainable Design into Site-Level Operations*, Richland, Washington, Estados Unidos: Pacific Northwest National Laboratory.
- Du Plessis, Christina (2007). "A strategic framework for sustainable construction in developing countries", *Construction Management and Economics*, Vol. 25, No. 1, pp. 67-76.
- PMI (2004). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*, Tercera Edición, Philadelphia, EUA: Project Management Institute.
- PMI (2007). *Construction Extension to the PMBOK Guide*, Tercera Edición, Philadelphia, EUA: Project Management Institute.
- Poon, C. S., Ann T. W. Yu y L. Jaillon (2004). "Reducing building waste at construction sites in Hong Kong", *Construction Management and Economics*, Vol. 22, No. 5, pp. 461-470.
- Prajogo, D. I. y A. Brown (2004). "The Relationship Between TQM Practices and Quality Performance and the Role of Formal TQM Programs: An Australian Empirical Study", *The Quality Management Journal*, Vol. 11, No. 4, pp. 31 – 42.
- Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, Nueva York: McGrawHill.
- Sor, R. (2004). "Information technology and organizational structure: Vindicating theories from the past", *Manage. Decis.*, Vol. 42, No. 2, pp. 316–329.
- Stevenson, F. y N. Williams (2000). *Sustainable Housing Design Guide for Scotland*, London: Stationery Office.
- Tang, S. L., R. T. Aoieong, y S. M. Ahmed (2004). "The use of Process Cost Model (PCM) for measuring quality costs of construction projects: model testing", *Construction Management and Economics*, Vol. 22, pp. 263–275.
- Treloar, G.J., P.E.D. Love, O.O. Faniran, y U. Iyer-Raniga (2000). "A hybrid life cycle assessment method for construction", *Construction Management and Economics*, Vol. 18, pp. 5-9.
- Turban, E. y J. E. Aronson (2001). *Decision support systems and intelligent systems*, 6a edición, Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- USGBC – U.S. Green Building Council (2008). *USGBC: LEED Rating System*, <http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=222> (consultado el 6 de junio de 2008).
- Wetherill, M., Y. Rezgui, S. Boddy y G. S. Cooper (2007). "Intra- and Inter-organizational Knowledge Services to Promote Informed Sustainability Practices", *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol. 21, No. 2, pp. 78 – 89.
- Winch, Graham M. (2002). *Managing construction projects: an information processing approach*, Oxford, Reino Unido: Blackwell Publishing.
- World Commission on Environment and Development (WCED) (1987). *Our common future*, Oxford, Reino Unido: Oxford University Press.
- Yasamis, F., D. Arditi, y J. Mohammadi (2002). "Assessing contractor quality performance", *Construction Management and Economics*, Vol. 20, No. 3, pp. 211-223.
- Zadeh, L.A. (1996). "The role of fuzzy logic in modeling, identification, and control", *Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems*, Singapore: World Scientific, pp. 783-795.