

# Construcciones sostenibles: materiales, certificaciones y LCA<sup>1</sup>

Eduardo Rocha-Tamayo<sup>2</sup>

Facultad de Arquitectura y Artes  
Universidad Piloto de Colombia, Bogotá.

Fotografías del autor

Fecha de recepción: 01/07/2011. Fecha de aceptación: 15/11/2011.

## Resumen

Las condiciones medioambientales actuales exigen la revisión del ejercicio profesional en el campo de la arquitectura, el urbanismo y la construcción. En el artículo se presentan: los sistemas de certificación de construcciones sostenibles desarrollados en diversas regiones del mundo, herramientas que ayudan a los profesionales mencionados a acometer la tarea de producir construcciones “verdes”; las características que deben tener los materiales de construcción para considerarlos sostenibles, y los sistemas para evaluar el ciclo de vida de las edificaciones LCA (*Life Cycle Assessment*), herramienta para la medición del impacto ambiental de las edificaciones y su verificación en términos de sostenibilidad.

## Palabras clave

Edificios verdes, impacto ambiental, materiales sostenibles.

## Sustainable constructions: building materials, certifications and LCA

### Abstract

*Current environmental conditions demand reevaluating the professional practice of architecture, urbanism and building construction. To serve that purpose, the article presents various certifications granted throughout the world to help the professionals above mentioned to put up “green” structures; other specifications for building materials to be considered “sustainable”; and Life Cycle Assessment (LCA) techniques to analyze constructions’ cradle-to-grave behavior, for measuring building’s environmental impact as well as corroborating its sustainability.*

### Keywords

*Green buildings, environmental impact, sustainable building materials.*

.....  
<sup>1</sup>Evaluación del ciclo de vida, LCA (*Life Cycle Assessment*).

<sup>2</sup>Arquitecto Universidad de Los Andes.  
eduardo-rocha@unipiloto.edu.co



**Arriba.** Edificio Novartis

## Introducción

Los arquitectos, urbanistas y constructores, actualmente tienen la obligación ética de generar proyectos sostenibles. Urbanismo sostenible, arquitectura sostenible y construcción sostenible son términos hasta cierto punto redundantes, pues la sostenibilidad debería ser una característica intrínseca del urbanismo y la arquitectura. Si así fuera, las certificaciones de construcción sostenible no serían necesarias. Sin embargo, los sistemas de certificación constituyen una guía de apoyo para que se logren proyectos sostenibles, y la certificación de edificaciones, cada vez más frecuente, lo comprueba. Es necesario que todos los involucrados en los desarrollos de proyectos inmobiliarios, como inversionistas, promotores, diseñadores y usuarios finales sean conscientes de la importancia que representa para la preservación del planeta la reducción del impacto ambiental causado por la construcción y operación de edificaciones.

La industria de la construcción y la operación de edificios le aportan al ambiente cerca del 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero (UNEP, 2007). La extracción de materias primas y los procesos industriales para la fabricación de materiales de construcción causan daños a ecosistemas como la deforestación, la contaminación del aire con gases y partículas (polvo y ceniza), y la contaminación de cuerpos de agua (extracción de gravilla de los ríos para el concreto, canteras en cerros con vegetación nativa, contaminación del aire con los gases que emanan de los hornos de producción de coque para el acero, entre otros). La operación de edificios consume cerca del 70% de la energía eléctrica (UNEP, 2008), además de grandes cantidades de agua para la eliminación de desechos, y genera enormes cantidades de basura. Los edificios, al terminar su vida útil, son frecuentemente demolidos y la mayoría de sus componentes van a los rellenos sanitarios—incluso en Colombia y otros países con economías emergentes en los que frecuentemente se reutilizan materiales de demolición tales como puertas, ventanas, estructuras metálicas y tejas entre otros—, que con el aumento progresivo de la producción de desechos requieren de mayores extensiones de terrenos, con los consecuentes daños a ecosistemas.

Son muchos los elementos y factores que se deben analizar y evaluar para determinar si una construcción es “sostenible” o ambientalmente responsable. De acuerdo con Norman Foster:

“Aún no tenemos una comprensión completa del impacto de los temas ambientales en la arquitectura en un sentido global, y espero que nuestro trabajo pueda aportar algunas referencias útiles para las generaciones futuras. Las cuestiones ambientales afectan la arquitectura a todo nivel, pero los arquitectos no pueden resolver todos los problemas ambientales del mundo; esto requiere de liderazgo político. Sin embargo, podemos diseñar edificios para que funcionen con niveles de consumo de energía muy inferiores a los actuales, podemos influir en los patrones del transporte a través del planeamiento urbano y podemos actuar como defensores apasionados del diseño sustentable” (Libedinsky, 2011: 22).

La construcción de edificios “verdes” implica que el desempeño de dichos edificios sea eficiente en términos de consumo de energía y agua, que se proteja el medio ambiente en que están siendo construidos, se minimice el desperdicio de materiales durante la construcción, se aproveche la infraestructura de ciudad existente, y se minimice el uso de transporte privado, entre otras estrategias. Como parte complementaria del diseño y la construcción de edificios sostenibles, es necesario considerar el impacto ambiental causado por la extracción y los procesos de producción de los materiales que se utilizan en la construcción.



En la creación de espacios confortables dentro de los edificios, que es uno de los objetivos principales de la arquitectura —obvio pero no sobra recordarlo, con frecuencia se construyen edificaciones con serias deficiencias de funcionamiento y comodidad para los usuarios en aras de beneficios económicos y estéticas de moda—, el papel de la envolvente arquitectónica es fundamental. De acuerdo al diseño y los materiales que se utilicen en la construcción de las cubiertas y fachadas se puede lograr una mayor eficiencia energética, que representa uno de los pilares de las construcciones sostenibles, evitando o minimizando la utilización de sistemas electromecánicos de climatización de edificios. Así mismo, la envolvente de los edificios es la responsable de una buena iluminación natural, que no debe ser excesiva ni deficiente.

Durante el proceso de diseño de edificaciones, una de las decisiones que debe tomar el arquitecto y su equipo de diseño es la definición de los materiales con los que se va a construir el edificio. Esta selección de materiales está determinada por factores de estética, costos, avances en tecnologías y características estructurales, entre otros, pero casi nunca, hasta ahora, se han considerado como aspectos determinantes las características de sostenibilidad que puedan tener los materiales. Cabe resaltar que los materiales pueden causar un mayor o menor impacto ambiental dependiendo de la forma en que se utilizan, partiendo de decisiones que se toman desde el inicio mismo del diseño arquitectónico, como los sistemas constructivos a utilizar y el manejo de los mismos en la construcción.

Incluir en la práctica del diseño estrategias como el “diseño para el desmantelamiento” —*Design for disassembly*— (Pressman, 2007: 844), o los sistemas pasivos de control de temperatura interior para el confort de los usuarios, entre otras, conduce a reducir el impacto ambiental generado durante la utilización y operación de los edificios, así como al terminar la vida útil del edificio, durante su demolición.

Los materiales que pueden ser reciclados fácilmente, “convirtiéndose” en materia prima para la fabricación de nuevos productos para la construcción o el consumo en general, reducen la extracción de recursos no renovables.

Por último se debe evitar el uso de materiales o productos que, por su forma de fabricación, contengan y emitan partículas, componentes volátiles orgánicos u otros gases nocivos para la salud después de ser instalados, principalmente en espacios interiores, para evitar el deterioro de la calidad de aire interior y minimizar el riesgo de enfermedades en los usuarios de los edificios.

## Certificación de construcciones sostenibles

Al surgir la necesidad de calificar los edificios en términos de sostenibilidad, aparecen los sistemas de certificación de edificios en diversas partes del mundo. La mayoría califican el desempeño de los sistemas del edificio en términos de eficiencia energética, uso de agua, localización, materiales utilizados y la calidad del aire interior.

Existen cinco sistemas de certificación reconocidos por el Consejo Mundial de Construcciones Sostenibles (WGBC) que son los siguientes:

BREEAM – *Building Research Establishment’s Environmental Assessment Method* (Reino Unido).

CASBEE – *Comprehensive assessment system for building environmental efficiency* (Japón).

DGNB – *Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen* (Alemania).

GREEN STAR – Consejos Australiano, Neozelandés y Sudafricano de Construcciones Sostenibles.

LEED – Consejo de Construcción Sostenible de



los Estados Unidos, creador de LEED. El consejo de Construcción Sostenible de Canadá, al igual que el de la India, han desarrollado sus propias versiones de LEED con el aval del USGBG (*United States Green Building Council*). En Colombia y otros países del mundo se han certificado construcciones utilizando el sistema LEED de los Estados Unidos, ya que estos países no han desarrollado sus propios sistemas de certificación.

En el mundo únicamente hay 20 países —incluidos los mencionados anteriormente— que han desarrollado sus sistemas de certificación, y once más que tienen establecidos Consejos de Construcción Sostenible aceptados y avalados por el Consejo Mundial de Construcciones Sostenibles (WGBC), como Brasil, México y Colombia, entre otros, pero que no cuentan con sistemas de certificación creados por ellos mismos (*World Green Building Council, 2010*).

LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) es en Colombia el único sistema de certificación utilizado hasta el momento, con dos construcciones certificadas y treinta y seis registradas y en proceso de certificación (Tablas 1 y 2). Adicionalmente, se está desarrollando el Sello Ambiental Colombiano de ICONTEC y revisando el Código de Construcción de Bogotá D. C. para incluir normativas de construcción sostenible.

LEED, por ser el sistema de certificación más difundido en Colombia, se utiliza como ejemplo de los aspectos que se deben tener en cuenta para la certificación de edificios. Creado en los Estados Unidos se apoya en normas y estándares de instituciones como la *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* ASHRAE, la *United States Environment Protection Agency*, U. S. EPA, *Illuminating*

*Engineering Society of North America* IESNA, el ANSI, y la ISO entre otras para establecer los parámetros, en algunos casos con mayor exigencia que las normas, que se deben cumplir para lograr un edificio “verde”.

LEED incluye, en el capítulo de Materiales y Recursos algunas de las características analizadas más adelante pero no todas (materiales locales, renovables, reciclables, reutilizables y efecto isla de calor; los demás no se tienen en cuenta para la certificación LEED, pero apoyado en los estándares ASHRAE se deben tener en cuenta factores como aislamiento térmico), que deben tener los materiales para obtener puntos en el proceso de certificación, pero el USGBC ni ningún otro consejo de construcción sostenible hace directamente las mediciones, pruebas de laboratorio y evaluaciones sobre los materiales. Las mediciones, evaluaciones y certificaciones de los materiales, insumos y productos utilizados en construcción son hechas por instituciones como el *Forest Stewardship Council* FSC, que vigila la cadena de producción desde los bosques hasta el producto de madera terminado y tiene representación en más de 50 países; el *Green Seal* que establece estándares relacionados con la vida útil de productos, servicios y compañías; el *Energy Star* que certifica el nivel de consumo de energía de equipos eléctricos y el *GreenSpec* que evalúa productos y materiales para la construcción. Además están ISO *International Standards Organisation*, ANSI *American National Standards Institute*, ASTM *American Society for Testing and Materials* y NIST *National Institute of Standards and Technology*, entre otras, que también hacen mediciones y evaluaciones a procesos industriales, materiales y productos para la construcción (como pinturas, alfombras, ventanas terminadas, etc.).

**Tabla 1.**  
Proyectos en Colombia con certificación LEED

NOMBRE DEL PROYECTO	CIUDAD	SISTEMA LEED
Falabella Centro Mayor	Bogotá	LEED Retail (CI) 1.0 Pilots Only
Novartis New Building	Bogotá	LEED NC 2.2

Fuente: U.S. Green Building Council. LEED Projects & Case Studies Directory  
<http://www.usgbc.org/LEED/Project/RegisteredProjectList.aspx>

**Tabla 2.**

## Proyectos en Colombia registrados para certificación LEED

NOMBRE DEL PROYECTO	CIUDAD	SISTEMA LEED
3M Customer Technical Center	Bogotá	LEED-NC v2009
Homecenter	Bucaramanga	LEED-NC v2009
Agencia Nacional de Hidrocarburos	Bogotá	LEED CI 2.0
Aloft Hotel Bogotá Airport	Bogotá	LEED-NC v2009
Arquitectura e Interiores Oficina	Bogotá	LEED CI 2.0
Avon Distribution Center	Guarne	LEED-NC v2009
Centro Comercial La Felicidad	Bogotá	LEED-CS v2009
Centro Empresarial y Deportivo Calle 53	Bogotá	LEED NC 2.2
Colegio San José	Barranquilla	LEED for Schools 2.0
Concreto Sede Sao Paulo	Medellín	LEED-EB:OM v2009
Concreto Sede Sao Paulo	Medellín	LEED-CI v2009
Contempo Headquarters	Bogotá	LEED-CI v2009
Dersa Vestier y Cafetería	Bogotá	LEED-NC v2009
Dirección General Bancolombia	Medellín	LEED-EB:OM v2009
EPM Building	Medellín	LEED-EB:OM v2009
Earthly Bosque Empresarial	Bogotá	LEED-CS v2009
Edificio de Oficinas Alpina	Sopó	LEED NC 2.2
Estación Metro Sabaneta	Sabaneta	LEED-NC v2009
Falabella Parque Arboleda	Pereira	LEED Retail (CI) 1.0 Pilots Only
Fundación Juan Felipe Gómez Escobar	Cartagena	LEED-NC v2009
GNB Sudameris	Bogotá	LEED NC 2.2
Green Office Corporativo Pijao	Bogotá	LEED-CS v2009
Homecenter Cedritos	Bogotá	LEED-NC v2009
Homecenter	Manizales	LEED-NC Retail v2009
Homecenter	Montería	LEED-NC Retail v2009
Hospital Univ. San Vicente de Paul	Medellín	LEED NC 2.2
Nueva Sede ISAGEN	Medellín	LEED-NC v2009
Oficinas Unilever	Bogotá	LEED-CI v2009
Oxo 69 Centro Empresarial y Hotelero	Bogotá	LEED CS 2.0
Palacio de Justicia de Antioquia	Medellín	LEED-CS v2009
Panoramic Eco Business Club	Bogotá	LEED-CS v2009
RUTA N Torres A y B	Medellín	LEED-NC v2009
Ruta-N Torre C	Medellín	LEED-CS v2009
San Antonio Plaza Comercial	Pitalito	LEED-CS v2009
Suramericana-Torre C	Medellín	LEED-NC v2009
T3- Ciudad Empresarial Sarmiento Angulo	Bogotá	LEED CS 2.0
Urban Plaza	Bogotá	LEED-CS v2009
Universidad del Atlántico-Admisiones	Barranquilla	LEED-NC v2009
World Business Center	Bogotá	LEED-CS v2009
Yanbal Bogotá Keops	Tenjo	LEED-NC v2009
Zona Franca PLIC S.A.	Cota	LEED NC 2.2

Fuente: U.S. Green Building Council. LEED Projects & Case Studies Directory  
<http://www.usgbc.org/LEED/Project/RegisteredProjectList.aspx>

Estas instituciones producen bases de datos de productos aceptados y certificados en términos de sostenibilidad, con el fin de facilitar la especificación de materiales y elementos de un proyecto por parte del equipo diseñador.

## Materiales sostenibles

Para la selección de materiales, que debe hacerse durante el proceso de diseño, es importante tener en cuenta los diversos factores y variables que se presentan a continuación. Estos parámetros son requeridos en los sistemas de certificación de edificaciones, algunos indirectamente y otros explícitamente. Los certificadores de productos y materiales propenden porque se utilicen aquellos que tengan bajo impacto durante el proceso de producción, aún si esto no está explícitamente solicitado en los sistemas de certificación.

### ◆ Materiales locales

Para que los materiales sean considerados como “locales” se debe tener en cuenta que la extracción de materias primas y los procesos de producción, cuando los hay, sean realizados a distancias cortas del sitio de construcción. Para la certificación de un proyecto bajo el sistema LEED, se consideran materiales locales los extraídos y procesados dentro de un radio de 500 millas del sitio de la construcción (USGBC, 2009: 379). Sin embargo, en la zona central de Colombia un radio de 500 millas (804.67 km) abarca la mayoría del territorio nacional. Con la difícil topografía montañosa y las condiciones de las vías intermunicipales y carreteras, será necesario revisar esta distancia (para el país), ya que esto implica una mayor contaminación por transporte terrestre que en condiciones topográficas menos exigentes, con vías amplias de varios carriles, como las de los países industrializados. Otros sistemas de certificación, como el inglés BREEAM (*Building Research Establishment's Environmental Assessment Method*) también hacen énfasis en la utilización de materiales locales cuyo objetivo es minimizar al máximo y en la

medida de lo posible las emisiones de CO<sub>2</sub> causadas y/o energía utilizada en el transporte de materiales desde el sitio de producción hasta el lugar de la obra (BREEAM, 2008).

Es evidente que en muchos casos es necesario utilizar materiales de otros lugares. En los casos en que se utilicen, es conveniente evaluar otros aspectos de sostenibilidad que mitiguen los efectos negativos del transporte. No se trata, en ningún caso, de una medida proteccionista de industrias locales.

### ◆ Materiales renovables

Los materiales renovables son aquellos que son producidos con materias primas cultivables y/o de crianza animal, como madera, fibras vegetales, cueros y fibras animales. Para la utilización de materiales renovables se debe tener en cuenta la producción, de tal manera que se garantice la continuidad de la renovación, evitando el agotamiento de la tierra y/o los recursos hídricos. El ciclo de producción o el tiempo de cultivo es un factor importante de la renovación. La madera, el caucho natural, la guadua, el corcho y otros productos vegetales son renovables y son frecuentemente utilizados directamente como materiales de construcción o como materias primas para productos procesados para la construcción.

La utilización no controlada de estos recursos puede conducir a la deforestación y por ende no es aceptable ni considerable como uso de materiales renovables. Para evitar este tipo de actividades surgió el *Forest Stewardship Council-FSC*, que certifica a nivel internacional los productos de madera cuando estos se procesan con maderas de bosques cultivados para su explotación y se garantiza que no hay deforestación. En Colombia existe representación de la FSC, y algunas empresas del sector maderero cuentan con el sello de certificación FSC. Algunas poseen Certificación por la Unidad de Manejo Forestal, mientras que otras cuentan con Certificación de unidad de manejo, Certificación de cadena de

custodia, y Certificado de cadena de custodia para la transformación primaria de los productos maderables ([www.fsc-colombia.org](http://www.fsc-colombia.org)).

### ◆ Reciclaje de materiales

Con excepción de algunos productos compuestos (elementos de diversos materiales reforzados con fibra de vidrio, caucho con fibras de acero, etc.) casi todos los materiales son reciclables. Desde el asfalto de las vías y el concreto fundido en sitio hasta materiales como el vidrio y los metales. La industria ha desarrollado nuevos procesos para el reciclaje de materiales los cuales son más o menos complejos dependiendo de la composición de los mismos. El reciclaje de los paneles de yeso utilizados comúnmente en la construcción en seco de muros es un proceso desarrollado recientemente. Con frecuencia, al demoler o desmontar muros construidos con estos, los paneles destruidos van a los basureros y rellenos sanitarios (WRAP, 2005: 2).

Los metales, tanto ferrosos (hierro, acero, etc.) como los no ferrosos (cobre, aluminio, etc.) son materiales fáciles de reciclar. Normalmente se funden y se producen nuevos productos. Al reciclarlos se elimina el impacto ambiental causado por los procesos de extracción y minería, reduciendo el consumo de energía hasta en un 70% de la energía requerida para el proceso completo de producción, en el caso del acero, y hasta en un 95% en el caso del aluminio ([www.buildwise.org](http://www.buildwise.org)).

Con el reciclaje de materiales como los polímeros y el vidrio, que tienen un alto nivel de energía gris, se logran ahorros significativos de energía en comparación con la producción de productos nuevos. En el caso de los polímeros el reciclaje contribuye, además, a reducir el consumo de petróleo.

El ladrillo, el concreto y otros materiales pétreos presentan mayores limitaciones para su reciclaje. Sin embargo pueden ser triturados para su uso como agregados, o como bases de rellenos de construc-

ción. El ahorro en términos de energía no es significativo, pero la reducción del impacto ambiental generado por la extracción minera en cuerpos de agua (ríos) y canteras sí justifica ampliamente estos procedimientos de triturado, aún más si se tiene en cuenta que son materiales ampliamente usados en las construcciones. El triturado implica consumos de energía altos, similares o mayores (dependiendo de la distancia a la cantera, para extracción de agregados) a los de la producción inicial (Bedoya, 2003).

El uso de materiales reciclables y/o materiales reciclados es una de las principales estrategias para reducir el impacto ambiental causado por la producción de materiales. La extracción de materias primas, el proceso de producción y finalmente el transporte al sitio de la construcción son actividades que implican emisiones de gases de efecto invernadero y en muchos casos daños ambientales en diversos ecosistemas.

### ◆ Materiales reutilizables

La reutilización de materiales implica tomar elementos de una construcción existente y utilizarlos nuevamente en otra construcción. Pueden ser utilizados con un uso similar o diferente al cual fueron concebidos inicialmente. Para calificar un material como reutilizado no deben realizarse procesos de transformación mayores (por ejemplo: una viga metálica se corta para ser utilizada para una luz menor, pero si se somete a un proceso como la fundición, ya no es reutilización sino reciclaje). Esta práctica resulta favorable en términos de sostenibilidad ya que se está prolongando la vida útil de los materiales.

Incluir en la práctica del diseño estrategias como el diseño para el desmantelamiento (DfD- *Design for Deconstruction*), al final de la vida útil del edificio, facilita la reutilización de los componentes y materiales. Al diseñar y construir el edificio se define cómo se “deconstruirá” previendo que los elementos y materiales no se destruyan y puedan ser reutilizados (EPA, 2008: 46).



En Colombia es común que las demoliciones sean “vendidas”, es decir, que al demoler una construcción (generalmente casas) el contratista que ejecuta el trabajo paga un valor acordado previamente al propietario y en el proceso de demolición recupera la mayor cantidad de elementos y materiales (tejas, estructuras metálicas, aparatos sanitarios, carpinterías de madera y metálicas, etc.) que luego son revendidos en depósitos de materiales de demolición. En estos casos, la demolición es un proceso lento y artesanal de desmantelamiento con el propósito de salvar la mayor cantidad de materiales y elementos que constituyen la construcción, y la comercialización de éstos se lleva a cabo de manera informal.

### ◆ Materiales durables

Una vida útil prolongada, representa uno de los aspectos importantes para lograr construcciones sostenibles. Esto depende, en gran medida, de la durabilidad de los materiales. La resistencia a la abrasión, al agua, al viento y a la radiación solar, entre otros, son características que hacen que los materiales sean durables. Hay materiales como la piedra y el ladrillo que han demostrado su durabilidad en construcciones como los acueductos romanos y las murallas de Cartagena entre muchos otros ejemplos alrededor del mundo. Es necesario tener en cuenta que no todos los tipos de piedra o ladrillo tienen la misma durabilidad. El NIST (*National Institute of Standards and Technology*) construyó en 1948 un muro con diferentes tipos de piedra originarias de los Estados Unidos y Europa para medir cuales tienen mayor resistencia a los agentes ambientales y por ende mayor durabilidad. Las areniscas por ser deleznable tienen menor durabilidad que los granitos naturales. El muro está aún en estudio y los resultados serán publicados en el futuro (NIST, 2011).

Los metales como el cobre, el aluminio o el acero son sometidos a pruebas y los ejemplos de construcciones hechas con metal son más recientes que las construcciones en piedra. Se encuentran ejemplos de cubiertas en cobre y plomo de varios siglos en

algunas catedrales medioevales y palacios europeos. Construcciones en acero como la Torre Eiffel y el puente sobre el río Magdalena para la vía férrea que comunica a Girardot con Flandes, demuestran que este material puede durar más de cien años.

Los materiales modernos como polímeros y plásticos, o los materiales de última generación como polímeros renovables son sometidos actualmente a pruebas de laboratorio en Estados Unidos, por el *National Institute of Standards and Technology*-NIST para determinar características como resistencias mecánicas, resistencia a agentes externos (lluvia, radiación solar, fuego, etc.) y a partir de estos estudios se determinará la posible durabilidad de estos materiales.

Los avances tecnológicos, el crecimiento de las ciudades, la presión económica sobre el valor de la tierra y nuevas tendencias arquitectónicas son algunos de los factores que conducen a que edificaciones de buena factura y en buen estado de conservación se consideren obsoletas y sea “necesario” demolerlas. Excepcionalmente, el deterioro de algunas construcciones es tan elevado que su recuperación puede resultar más onerosa que la construcción de un nuevo edificio, y se presentan casos extremos en los que es indispensable la demolición de una edificación porque presenta un alto riesgo de colapsar, pero la mayoría de los edificios que se demuelen estarían en condiciones de seguir siendo utilizados debido a que han sido construidos con materiales durables.

### ◆ Materiales de fácil mantenimiento

Todos los edificios necesitan mantenimiento sin importar con qué materiales estén construidos. Este mantenimiento consiste básicamente en aseo, reparaciones menores y reposición de elementos que por el uso continuo y las condiciones climáticas presenten deterioro. Esto implica costos energéticos, consumo de agua, generación de residuos y en algunos casos contaminación de cuerpos de agua o del subsuelo.

Para minimizar el impacto ambiental durante la vida útil del edificio es de gran importancia prever, desde la fase de diseño, cómo va a ser el mantenimiento del edificio durante su operación. Algunos ejemplos son: materiales resistentes a los rayos UV como concreto, piedra o ladrillo en fachadas, en lugar de pintura; protecciones contra la corrosión en materiales metálicos a la vista; pisos de tráfico pesado fáciles de limpiar como porcelanato o cerámica, o fáciles de pulir como la madera. Se recomiendan en general materiales de acabado que no requieran del uso de grandes cantidades de agua para su mantenimiento, es decir, los que cuentan con superficies que no retienen polvo, humedad o mugre. Y se deben evitar los materiales de acabado que exigen productos químicos para su limpieza (pues generan residuos contaminantes) o equipos para su mantenimiento (puesto que consumen energía). Al diseñar cubiertas verdes se deben plantar especies nativas o adaptadas, que no requieran de riego excesivo, o cuidados especiales, para su mantenimiento.

Los materiales rápidamente renovables como la guadua (*Guadua angustifolia*), el kenaf (*Hibiscus cannabinus*) usado en España (Greenvision ambiente, s.f.), y la madera (Ministerio de Educación de Chile y UNESCO 2006), requieren de tratamientos iniciales (INDUGUADUA, 2005) y mantenimiento periódico mayor al de una construcción en ladrillo o piedra. Si bien es cierto que existen construcciones de madera de más de cien años como la iglesia de San Luis en San Andrés Islas, Colombia, “construida en Mobile (Alabama, USA) y desarmada para su traslado a la isla, en donde fue erigida en 1986” (Sánchez, 2004: 39), los productos de origen vegetal requieren de cuidados especiales, y como en todas las construcciones, de un correcto proceso constructivo que garantice el adecuado comportamiento de los materiales.

### ◆ Características térmicas

Los diseños de sistemas pasivos con los que se pretende lograr el confort térmico de los ambientes interiores de una construcción sin el uso de equipos

eléctricos, mecánicos o cualquier otro sistema activo, dependen principalmente de que el diseño arquitectónico responda a las condiciones de clima del sitio en el que se va a construir la edificación, y en gran medida, de las propiedades térmicas de los materiales utilizados. En climas cálidos se debe buscar la protección de la radiación solar y la ventilación, que además de contribuir a la reducción de temperatura es necesaria para la renovación de aire interior; en climas fríos es fundamental el aprovechamiento de la radiación solar para aumentar la temperatura de los espacios, y el control de la ventilación es crítico porque se debe lograr la renovación del aire sin causar pérdidas fuertes de temperatura.

Estudios del comportamiento térmico de los materiales han determinado los coeficientes de transmisión térmica de los mismos, que dependen de variables como las dimensiones, forma y combinaciones de dos o más materiales. Al formar compuestos como por ejemplo: lámina de acero + poliuretano expandido + lámina de acero o panel de fibro cemento + panel de fibra de vidrio + panel de yeso, entre muchas otras combinaciones, y de acuerdo con las características de cada material, se obtiene un comportamiento térmico y desempeño diferente (Pressman, 2007: 124 a 127). El vidrio es un ejemplo de material con un alto coeficiente de transmisión térmica (y por tanto baja capacidad de aislamiento térmico), pero es posible incrementar su capacidad de aislamiento térmico utilizando vidrios dobles, o triples, con espacios de aire entre ellos o con vacío entre los vidrios (Pressman, 2007: 194 a 197).

En el mercado, especialmente el norteamericano, se identifican los productos aislantes con diferentes factores. El factor “R” representa la resistencia térmica<sup>3</sup> del material. A mayor valor R mayor resistencia



térmica y por ende mayor capacidad de aislamiento térmico. El factor R es igual a  $1/K$ . El valor “U” es la tasa de pérdida de calor a través de un material, y se calcula con la fórmula:  $\text{watts}/\text{m}^2\text{kelvin}$  (Irish Energy Center, s.d.). El valor “K” representa la conductividad térmica<sup>4</sup> de un material y es inversamente proporcional a R. Los metales en general, tienen baja capacidad de aislamiento térmico, mientras que materiales livianos, como el poliuretano, tienen alta capacidad de aislamiento térmico. Tomando como ejemplo una lámina de aluminio de una pulgada de espesor (25.4 mm) se observa que tiene un factor K de 1428 y un factor R de 0.0007 (Pressman, 2007: 1003-1005; Pressman, 1998: 748).

La capacidad de retener o de transmitir el calor entre espacios, o desde el interior hacia el exterior y viceversa de las envolventes (pisos, muros y cubiertas), se define con la elección correcta de los materiales que las componen, desde el diseño arquitectónico. En la medida en que esto se logra, la implementación de sistemas activos para enfriar o calentar los espacios habitables (dependiendo de las condiciones climáticas) no será necesaria, o se reducirán los consumos por este tipo de equipos, reduciendo el impacto ambiental durante la vida útil del edificio.

En circunstancias específicas es necesario recurrir al apoyo de sistemas activos (ventilación mecánica, calefacción, aire acondicionado) para lograr espacios con la temperatura y humedad adecuadas. En estos casos, para lograr la mayor eficiencia y reducir los consumos de energía de los equipos, es fundamental considerar no sólo la capacidad de aislamiento térmico de los materiales, sino también la hermeticidad

.....  
<sup>3</sup>**Resistencia térmica:** cada sólido, de acuerdo con su densidad molecular, determina la velocidad y cantidad de flujo calórico que lo recorre, es decir, tiene mayor o menor resistencia térmica (Moreno, 1991: 67).

<sup>4</sup>**Conductividad térmica (k):** capacidad de un material para transferir calor. La conducción térmica es el fenómeno por el cual el calor se transporta de regiones de alta temperatura a regiones de baja temperatura dentro de un mismo material o entre diferentes cuerpos (Millarium.com, 2004).

de los espacios (evitando pérdidas de calor), que se logra mediante el correcto empate y ensamblaje de los elementos de las envolventes.

La inercia térmica es la propiedad de los materiales de retener el calor y retardar su transmisión de un lado al otro del material (en un muro, por ejemplo). Usualmente la inercia térmica contribuye a mantener temperaturas más o menos constantes en espacios interiores, es decir, con fluctuaciones reducidas.

### ◆Energía embebida en los materiales

La energía “gris” o energía “embebida” en los materiales y productos para la construcción es el parámetro más utilizado para calcular las emisiones de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera, durante la extracción de materias primas, los procesos de transformación y el transporte de los materiales hasta su destino final de utilización. Consiste en medir la energía en unidades de Julios, watts o BTU’s. La energía embebida de un edificio se calcula sumando toda la energía embebida de todos los materiales utilizados, más la energía utilizada durante la construcción. La energía embebida forma parte fundamental de la valoración del ciclo de vida (*Life Cycle Assessment*) como se verá más adelante.

En Europa, Estados Unidos, Australia y Nueva Zelanda han realizado mediciones del consumo de energía requerido para la producción de materiales de construcción, y se han publicado listas con los materiales más comunes y sus respectivas energías embebidas. En la Tabla 3 se presentan los coeficientes de energía embebida de algunos materiales de construcción.

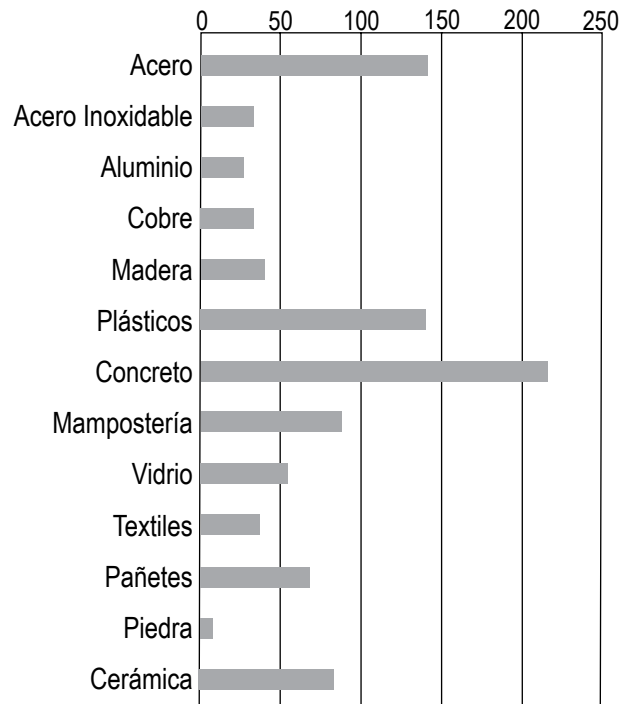
Los metales, en especial el aluminio y el cobre, se encuentran entre los materiales con mayor demanda de energía para su producción. Sin embargo, son materiales fácilmente reciclables y se utilizan en bajas proporciones en las construcciones, por lo que aportan poca energía embebida al total de la edificación. En el estudio hecho por CSIRO (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*

**Tabla 3.**

Coefficientes de energía embebida de materiales de construcción (Mega Julios/m<sup>3</sup>)

MATERIAL	MJ/m <sup>3</sup>
Paja	30,5
Agregados de río	36,0
Agregados de cantera	63,0
Arena	232
Adobe, estabilizado con bituminosa	490
Adobe, estabilizado con cemento	710
Bloque de tierra prensado	810
Piedra local	2.030
Poliestireno expandido	2.340
Concreto, 40 MPa	3.890
Ladrillo cerámico	5.170
Teja cerámica	5.250
Madera contrachapada	5.720
Asfalto	7.140
MDF	8.330
Fibro-cemento	13.550
Ladrillo cerámico vitrificado	14.760
Cemento	15.210
Aluminio reciclado	21.870
Papel	33.670
Acero reciclado	37.210
Vidrio endurecido	37.550
Vidrio laminado	41.080
Poliuretano	44.400
Polipropileno	57.600
Caucho de látex natural	62.100
Vidrio endurecido	66.020
Acero reciclado, reforzado, seccionado	69.790
PVC	93.620
Pisos de vinilo	105.990
Pinturas con base en agua	115.000
Aluminio reciclado, extruido y anodizado	115.830
Caucho sintético	118.800
Pinturas con base en solventes	127.500
Linóleo	150.930
Acero estructural	274.570
Zinc	371.280
Aluminio, extruido, anodizado	612.900
Cobre	631.164

Fuente: Victoria University of Wellington, New Zealand.  
[www.victoria.ac.nz/cbpr/documents/pdfs/ee-coefficients.pdf](http://www.victoria.ac.nz/cbpr/documents/pdfs/ee-coefficients.pdf)



**Gráfica 1.** Total de energía embebida en una casa australiana, por cantidad de materiales utilizados en la construcción, en Giga Julios. **Fuente:** (CSIRO, 2010: 138) <http://www.yourhome.gov.au/technical/fs52.html>

– *Australia's national scientific agency*) de una casa promedio en Australia (ver Gráfica 1) se observa claramente que materiales con baja energía embebida, como el concreto y el ladrillo, que son utilizados en mayor cantidad (masa en el total de la construcción), aportan valores más altos de energía embebida a la construcción terminada que otros como el aluminio, el acero inoxidable y el cobre, que poseen energía embebida muy alta, pero su masa (en el total de la construcción) es muy baja.

Los polímeros (acrílicos, PVC, polipropileno, entre otros) son materiales con alta energía embebida, mientras que la piedra, la madera, la guadua y la tierra cruda (adobe, tapia pisada y bahareque) son los que tienen la menor energía embebida.

En la medida en que se desarrollan materiales más livianos para la construcción, la energía embebida de estos empieza a causar menor impacto ambiental ya que se podrán construir edificios con menos kilos de

materiales. Por otra parte, si las fuentes de energía limpia (eólica, solar, etc.) fueran suficientes para la industria de producción de materiales de construcción, la energía embebida en los materiales sería de menor importancia en la selección de materiales.

### ◆ Efecto isla de calor

El efecto isla de calor es el aumento de la temperatura en las ciudades con relación a su entorno rural próximo, debido a la acumulación del calor generado por la radiación solar en las superficies de asfalto de las vías, las cubiertas y las fachadas de las edificaciones, y en general, en todas las superficies construidas. Este efecto contribuye al calentamiento global, de ahí la importancia de buscar soluciones para mitigarlo.

El factor SRI (*Solar Reflectance Index*) de los materiales indica la capacidad de una superficie para reflejar la radiación solar. Los materiales con mayor valor de SRI presentan menores aumentos en la temperatura, y los de valores bajos de SRI, se calientan más. Para detener parcialmente el efecto isla de calor es necesario que los materiales utilizados en cubiertas, zonas duras exteriores, y en menor grado, en fachadas, posean valores de SRI altos, mayores a 29, de acuerdo con las tablas de valores utilizadas como guía en el capítulo de *Sustainable Sites* (páginas 112 y 122) de *LEED Reference Guide for Green Building Design and Construction, 2009*. El color y la densidad de los materiales influyen en el factor SRI. Los materiales de mayor densidad y los más oscuros generalmente tienen un menor valor de SRI. A mayor valor de SRI, menor calentamiento o acumulación de temperatura del material (University of Tennessee Center for Clean Products, 2009).

### ◆ Contaminación de ecosistemas

El impacto ambiental generado por la producción de materiales de construcción no se limita al consumo de energía para su extracción, producción y transporte, y sus consecuentes emisiones de gases

efecto invernadero. La contaminación de cuerpos de agua, la deforestación, la erosión y otros daños ecológicos son de igual relevancia al seleccionar los materiales para la construcción. Las causas de la deforestación son múltiples, entre las que se encuentran la ocupación de áreas de bosques para la agricultura, la ganadería, la minería y los asentamientos humanos. Tres cuartas partes de la población mundial dependen principalmente de la madera como fuente de energía. La industria maderera para la producción de muebles, lápices, papel, y materiales para la construcción también contribuye a la deforestación del planeta. Las consecuencias de la deforestación son la erosión, cambio en los regímenes de lluvias y la desertificación entre otros (UNEP, 2010).

La minería para la extracción de materias primas para la fabricación de materiales de construcción como el acero, el bronce, el PVC entre otros, causan daños ecológicos además de la deforestación. Estos daños son la destrucción de ecosistemas como humedales, páramos y contaminación de ríos y otros cuerpos de agua. La extracción de agregados de los ríos para concreto genera modificaciones en los caudales y cursos de éstos dañando ecosistemas y ocasionalmente son el origen de inundaciones.

En todos los países del mundo hay leyes para la protección del medio ambiente, sin embargo estas son más o menos exigentes en los diferentes países. Las industrias deben ajustarse a dichas normas para poder operar, pero también los mecanismos y penalización para obligar al cumplimiento de las leyes es variable y más o menos laxo en unos países que en otros.

Los sistemas de certificación como los de ISO, FSC, GreenSpec, Green Seal, normas de EPA y otros contribuyen considerablemente al control de estos tipos de contaminación. Es responsabilidad de todos los actores del sector de la industria de la construcción la producción de edificaciones sostenibles. Demandar productos certificados por estas instituciones es la





manera más efectiva de que las industrias productoras de materiales para la construcción se ajusten y actúen con todos los requisitos necesarios para la protección del medio ambiente (UNEP, 2010).

### **LCA** (*Life Cycle Assessment*)

La valoración del ciclo de vida (LCA – *Life Cycle Assessment*) es un procedimiento desarrollado inicialmente para evaluar el impacto ambiental de productos de consumo masivo, desde objetos simples como cuadernos escolares hasta objetos de alta tecnología como teléfonos celulares y automóviles. Las normas ISO 14000 corresponden a los estándares que deben seguir las industrias en materia de protección del medio ambiente. La norma ISO 14044 - *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines* define los requisitos y parámetros a tener en cuenta para hacer una evaluación de ciclo de vida. Los edificios, vistos como un bien de consumo, no son la excepción a la valoración, aunque poseen una mayor complejidad por la cantidad de diversos materiales y variables propias de una construcción.

En las evaluaciones de ciclo de vida de los edificios se analizan los siguientes factores: el consumo de energía, las emisiones de gases efecto invernadero, la contaminación o el impacto sobre los ecosistemas y los consumos de agua, entre otras, desde el inicio del proceso de construcción (extracción de materias primas, procesos de producción de los materiales e insumos, transportes requeridos), durante la vida útil del edificio, y finalmente durante la demolición o desmontaje del edificio. Frecuentemente se confunde la valoración del ciclo de vida con el análisis de costos durante el ciclo de vida, el cual se hace con el objetivo de establecer una viabilidad financiera de un proyecto evaluando los costos monetarios de la construcción y operación del edificio. Aún cuando son análisis diferentes, en ambos casos se calcula un estimado de duración del edificio y se da una mejor valoración a los elementos que lo componen que tienen un mejor comportamiento en términos de durabilidad y fácil mantenimiento.

En los análisis de la valoración del ciclo de vida de una edificación, se evalúa el impacto ambiental generado por la producción de todos los materiales utilizados en la construcción. Se utilizan para el análisis bases de datos que contienen la información estadística, recopilada por diferentes organismos y empresas en diversos países, del impacto ambiental causado durante la fabricación de materiales y productos, desde la extracción de materias primas hasta que estos llegan al consumidor.

Utilizando como herramienta principal *software* especializado, se hace un modelo digital de la edificación a construir con toda la información de materiales propuestos, condiciones climáticas, sistemas de iluminación y ventilación, entre otros, para producir la valoración del

ciclo de vida del edificio y su impacto ambiental desde el inicio de la construcción hasta su posible demolición en un lapso de tiempo que se estima entre 50 y 75 años.

Para la valoración del ciclo de vida se hace el modelado partiendo desde la concepción inicial del proyecto e incluye las siguientes fases:

Fase 1	Prefactibilidad Definición necesidades del proyecto	
Fase 2	Diseños completos	Especificación de materiales Presupuestos
Fase 3	Construcción	
Fase 4	Uso	Mantenimiento Remodelaciones
Fase 5	Final de vida	Demolición

Fuente: elaboración propia a partir de (RMIT University, 2001: 6).

Algunas de estas herramientas tecnológicas (*software*) que permiten modelar y calcular en términos numéricos el impacto ambiental de un proyecto, desde la construcción y operación, hasta el final de la vida útil del mismo, son SimaPro, BEES y Gabi4 entre otras, algunas con licencia gratuita ([www.epa.gov/nrmrl/lcaccess/resources.html](http://www.epa.gov/nrmrl/lcaccess/resources.html)). Algunos de estos programas de computador están diseñados originalmente para calcular el impacto ambiental de productos de consumo masivo (teléfonos celulares, electrodomésticos, automóviles, muebles, etc.) pero también son operativos en el campo de la construcción.

Para lograr la valoración del ciclo de vida de una edificación y su impacto ambiental, es necesario hacer un inventario riguroso de los materiales que serán utilizados en su construcción. Para cada uno de los materiales se calcula la energía consumida desde la extracción de materias primas hasta que llega el material al sitio de la construcción. Se calcula así mismo el consumo de agua y los desperdicios o residuos del proceso. Finalmente, se simulan los consumos energéticos y de consumo de agua y materiales requeridos para la operación y mantenimiento del edificio, durante un periodo de vida útil estimado previamente.

## Conclusiones

La responsabilidad ambiental recae sobre todos los actores que constituyen la sociedad: los sectores productivos, las instituciones estatales y gubernamentales, las empresas de servicios, entre otros. Dadas las





circunstancias del deterioro ambiental del planeta es prioritario que todos los actores involucrados tomen medidas para la protección del medio ambiente y su recuperación. En este orden de ideas, los sistemas de certificación de construcciones sostenibles se constituyen en una herramienta para medir el nivel de sostenibilidad de las construcciones y en una guía de buenas prácticas en el campo de la arquitectura, el urbanismo y la construcción.

La evaluación del ciclo de vida (LCA) es complementaria a los mencionados sistemas de certificación, ya que analiza aspectos diversos que impactan el medio ambiente durante la vida útil de los productos de consumo, en este caso los edificios, que los sistemas de certificación no miden. Así mismo los sistemas de certificación evalúan algunos aspectos que LCA no tiene en cuenta. El modelado y evaluación del ciclo de vida, muy poco conocido en Colombia, constituye una herramienta de gran valor durante la fase de diseño de los proyectos debido a que suministra información valiosa, que en coordinación con otros aspectos del diseño arquitectónico, permitirá tomar decisiones de diseño y construcción que conduzcan a la disminución del impacto ambiental de las edificaciones.

Es claro que construir edificios “verdes” no sólo depende de la elección de materiales con baja energía embebida, o del uso exclusivo de materiales locales. La responsabilidad de la construcción sostenible recae principalmente sobre el diseño urbano, arquitectónico y paisajístico, no sólo porque los diseñadores son quienes toman la decisión de cuáles materiales utilizar, sino porque deben responder en sus propuestas de diseño a las condiciones del lugar y a las necesidades del usuario final. Las condiciones del lugar dictan las directrices de diseño como orientación, respuesta a los vientos, manejo de aguas lluvias, protección (o exposición) al sol, aprovechamiento de la luz natural, uso de energías alternativas y todo lo necesario para que la comunidad y los individuos tengan una mejor calidad de vida.

Los materiales con menor energía embebida como la tierra cruda, el adobe, la madera o la guadua son, sin lugar a dudas, una alternativa para construcción en determinados lugares, o como partes de edificaciones construidas con otros materiales (por ejemplo, muros divisorios en adobe, en una edificación construida con estructura en concreto) pero es evidente que no es posible retornar a la utilización exclusiva de estos materiales y técnicas constructivas. Las condiciones sociales y económicas exigen, por diversas razones como la escasez de suelo urbanizable, la construcción de edificaciones en altura. La utilización de materiales livianos producto de nuevas tecnologías con sistemas constructivos



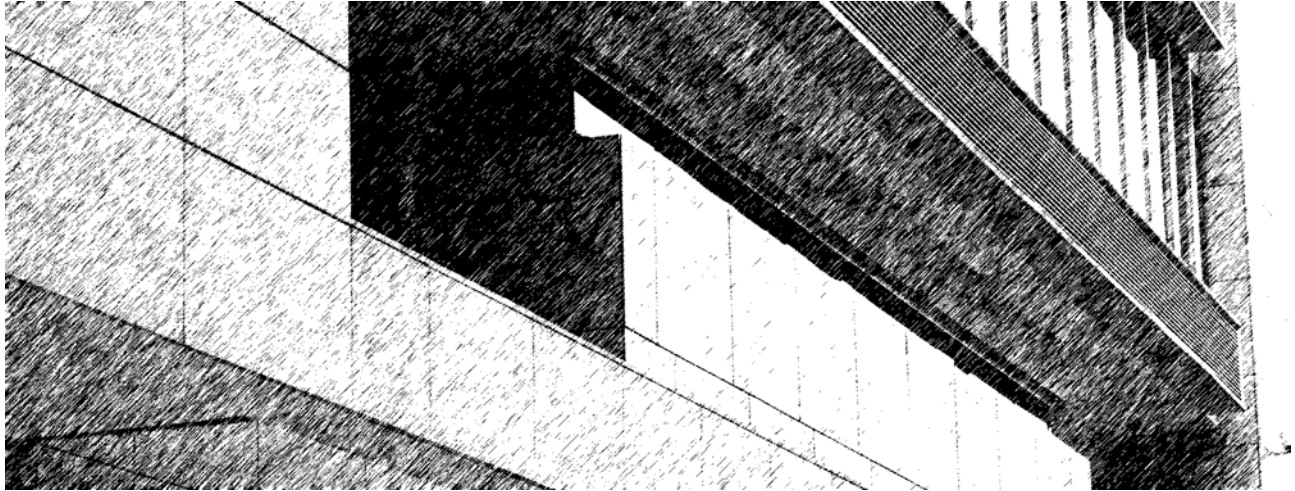
desarmables es, tal vez, el camino a seguir para la construcción sostenible, llevando a la industria de la construcción al esquema de “Ciclo Cerrado o de la cuna a la cuna (*cradle to cradle*)” (Tyler, 2008: 23) que, partiendo del principio del diseño para el desmantelamiento, significa que se debe diseñar las construcciones resolviendo, desde el inicio del proceso, la reutilización o reciclaje como materias primas, de todos sus componentes al terminar la vida útil del edificio, es decir, que regresen a la “cuna”, para ser reutilizados nuevamente.

Es necesario revisar el ejercicio profesional en el campo de la arquitectura, el urbanismo y la construcción. En el proceso de diseño, la selección de materiales se debe hacer bajo la óptica de la sostenibilidad ambiental y no solamente por motivaciones estéticas y económicas. Los equipos de profesionales en estos campos se verán obligados, en poco tiempo, a utilizar los sistemas de certificación y las herramientas como el LCA al igual que utilizan los computadores con utilidades CAD, o la escala.

## Referencias

- ◆ Bedoya, Carlos Mauricio (2003) *El concreto reciclado con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.
- ◆ BREEAM Building Research Establishment's Environmental Assessment Method (2008) *Offices Assessor Manual 2008*. London: BRE Global Ltd.
- ◆ Centre for desing at royal Melbourne institute of technology. [www.rmit.edu.au](http://www.rmit.edu.au) Enero 24 de 2011
- ◆ CSIRO-Australia CommonwealthScientific and Industrial Research Organization (2010) *Your home technical manual*. <http://www.yourhome.gov.au/technical/index.html>
- ◆ EPA-United States Environment Protection Agency (2008) *Lifecycle construction resource guide*. Atlanta: EPA. <http://www.lifecyclebuilding.org/files/Lifecycle%20Construction%20Resource%20Guide.pdf>
- ◆ FSC- Forest Stewardship Council. <http://info.fsc.org>
- ◆ FSC-Colombia.org (2010) *Directorio certificado*. En <http://fsc-colombia.org/servicios/directorio-certificado/>
- ◆ GREENSPEC. [www.grenspect.co.uk](http://www.grenspect.co.uk)
- ◆ Greenvision ambiente (s.f) Aislamiento térmico y acústico en fibra de kenaf para la construcción bio-climatica y natural. Disponible en: <http://www.construnario.com/ebooks/6577/@kenaf@/fichas%20técnicas/info%20kenaf%20completa/files/info%20kenaf%20completa.pdf>
- ◆ INDUGUADUA (2005) Técnicas de preservación de la guadua. Disponible en <http://www.induguadua.com/publicaciones.php?id=28968> junio 20 de 2011.
- ◆ Irish Energy Center (s. d) *What is a U-value*. <http://www.completehome.ie/files/whatisauvalue.pdf> Marzo 17 de 2010.
- ◆ ISO-International organization for Standardization (2006) ISO 14044 - Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines.
- ◆ Libedinsky, Juana (2011) *Norman Foster, un arquitecto que imagina el futuro*. Entrevista a Norman Foster por Juana Libedinsky para *La Nación* (Argentina),





publicada en *El Tiempo*, Enero 22 de 2011, página 22.

◆ Miliarium.com (2004) Propiedades térmicas de materiales. En <http://www.miliarium.com/prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadTermicas.htm> Mrazo 17 de 2010.

◆ Ministerio de Educación de Chile y UNESCO (2006) *Mantenimiento de la madera en establecimientos educacionales, Guía N° 5: El mantenimiento compromiso de todos*. Santiago de Chile: Ministerio de Educación de Chile y UNESCO. Disponible en <http://unesdoc.unesco.org/images/0015/001586/158663s.pdf>

◆ Moreno, Santiago (1991) *Arquitectura, hombre y clima*. Bogotá: SENA-Universidad Nacional de Colombia.

◆ National Insulation Association. [www.insulation.org](http://www.insulation.org) Marzo 6 de 2010.

◆ NIST-National Institute of Standards and Technology (2011) *Stone test wall*. En <http://www.nist.gov/el/building-materials/stonewall.cfm>

◆ Pressman, Andrew (Ed.), (2007) *Architectural Graphic Standards* 11<sup>TH</sup> Edition. New Jersey: John Wiley & Sons.

◆ Pressman, Andrew (Ed.), (1988) *Architectural Graphic Standards* 8<sup>TH</sup> Edition. New Jersey: John Wiley & Sons.

◆ RMIT University (2001) *Background report LCA tools, data and application in the building and construction industry*. <http://buildlca.rmit.edu.au/downloads/BACKGROUNREPORTFINAL.PDF>

◆ Sánchez Gama, Clara Eugenia (2004) *La casa isleña, patrimonio cultural de San Andrés*. San Andrés: Universidad Nacional de Colombia, Sede San Andrés.

◆ Tyler, Cynthia (2008) Diseño cradle to cradle: la nueva revolución industrial. *Revista Alarife* No. 15: 9- 24.

◆ UNEP (United Nations Environment Programme) *Vital Forest Graphics*, [www.unep.org](http://www.unep.org) Abril 24 de 2010.

◆ UNEP-United Nations Environment Programme (2007) *Buildings and climate change. Status, challenges and opportunities*. París: UNEP.

◆ UNEP-United Nations Environment Programme (2008) *The Kyoto Protocol, The Clean Development Mechanism and the Building and Construction Sector*. París: UNEP.

◆ UNEP -United Nations Environment Programme (2010) *Ecosystem management*. Kenia: UNEP. [http://www.unep.org/pdf/UNEP\\_Profile/Ecosystem\\_management.pdf](http://www.unep.org/pdf/UNEP_Profile/Ecosystem_management.pdf)

◆ University of Tennessee Center for Clean Products (2009) *Case Study: Natural Stone Solar Reflectance Index and The Urban Heat Island Effect*. Natural Stone Council. <http://www.genuinestone.com/content/file/Case%20Studies/Solar%20Reflectance%20Case%20Study%20-%200071709.pdf> Febrero 26 de 2010

◆ U.S. Green Building Council. LEED Projects & Case Studies Directory. <http://www.usgbc.org/LEED/Project/RegisteredProjectList.aspx>

◆ USGBC United States Green Building Council (2009) *Building Design and Construction Reference Guide*. Washington: USGBC.

◆ Victoria University of Wellington, New Zealand (2011). [www.victoria.ac.nz/cbpr/documents/pdfs/ee-coefficients.pdf](http://www.victoria.ac.nz/cbpr/documents/pdfs/ee-coefficients.pdf) Febrero 9 de 2010

◆ WGBC (World Green Building Council). [www.wgbc.org](http://www.wgbc.org) Enero 24 de 2011

◆ World Green Building Council (2010) GBC Directory. [http://www.mt.worldgbc.org/green-building-councils/index.php?status=Full&region=&option=com\\_countryfinder](http://www.mt.worldgbc.org/green-building-councils/index.php?status=Full&region=&option=com_countryfinder) 24/01/2011.

◆ WRAP -Waste and Resources Action Programme (2005) *Plasterboard Case Study 2004-2005*. London: WRAP. En [http://www.wrap.org.uk/construction/case\\_studies/plasterboard\\_9.html](http://www.wrap.org.uk/construction/case_studies/plasterboard_9.html)

◆ <http://www.buildwise.org/library/energy/sustainable/green.technical-guide/fs31.pdf> Junio 25 de 2011.

◆ [www.epa.gov/nrmrl/lcaccess/resources.html](http://www.epa.gov/nrmrl/lcaccess/resources.html)