

Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Construcción

Metodología para la evaluación y selección de materiales de
construcción con base en criterios de sostenibilidad

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Alberto Koberg de la Cruz

Cartago, Setiembre 2016.

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

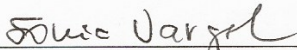
Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Gustavo Rojas Moya, Ing. Rolando Fournier Zepeda, Ing. Sonia Vargas Calderón, Arq. Carlos Ugalde Hernández, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



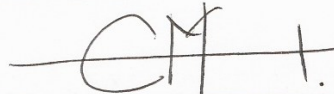
Ing. Gustavo Rojas Moya
Director



Ing. Rolando Fournier Zepeda.
Profesor Guía



Ing. Sonia Vargas Calderón.
Profesora Lectora



Arq. Carlos Ugalde Hernández.
Profesor Observador

Abstract

The following report explains the development of a comprehensive building materials evaluation system based on sustainability principles.

The specific objectives set were: to identify material categories; to identify materials and building products typically used in sustainable building projects in which SPHERA Sustainable Building Consulting has been part of; to create a list of parameters and criteria; to evaluate sustainability of each product/material; to develop a scoring system to rate material according to their score; last but not least, create a tool to store and display the information regarding each product.

The material categories were determined by analyzing previous projects built under sustainable principals, which achieved LEED certification. CSI Master Format 2014 categories were used to group materials into predetermined divisions.

The development of a comprehensive set of criteria that evaluates a product's impact on the proposed sustainable dimensions was achieved after conducting an extensive research. Sustainable criteria were divided into environmental, technical and socioeconomic dimensions.

As a means to evaluate and compare building products and materials, a scoring system was developed. Weights were assigned to each criteria based on its potential impact.

In order to bring all the above-mentioned components together, a tool was created in Microsoft Excel, which allows the storage and display of data. This tool serves as the platform to evaluate and select materials.

Keywords: Sustainable materials, building products, material selection, material rating system, sustainable building

Resumen

El siguiente trabajo consiste en el desarrollo de una metodología de evaluación de materiales y productos para la construcción con base en criterios de sostenibilidad.

Los objetivos específicos planteados fueron: determinar los rubros de materiales más utilizados en la construcción; determinar los materiales típicamente utilizados en proyectos de construcción sostenible en los cuales ha participado SPHERA; obtener una lista de indicadores y respectivos criterios para evaluar la sostenibilidad de cada producto de construcción; desarrollar un sistema de puntuación y pesos para realizar una comparación; desarrollar una herramienta digital que permita almacenar y comparar los materiales.

Las categorías materiales se definieron al realizar una revisión de los materiales utilizados en proyectos que alcanzaron certificaciones LEED. Se utilizó la nomenclatura de MasterFormat 2014 para definir las categorías de materiales.

Luego de una investigación bibliográfica, se determinaron los principales criterios de sostenibilidad necesarios para evaluar materiales y productos de construcción. Se determinaron indicadores de sostenibilidad divididos en las dimensiones ambiental, técnica y socioeconómica.

Se desarrolló un sistema de puntuación que permite comparar los materiales según su desempeño respecto a cada indicador. Además se asignó un peso a cada indicador con base en el impacto que este genera.

Como plataforma para realizar la selección de los materiales se desarrolló una herramienta digital en Microsoft Excel. La herramienta permite almacenar, procesar y desplegar los datos.

Palabras clave: selección de materiales, materiales sostenibles, construcción sostenible, materiales de construcción

Metodología para la evaluación y selección de materiales de construcción con base en criterios de sostenibilidad

ALBERTO KOBERG DE LA CRUZ

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Setiembre de 2016

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio.....	1
Resumen ejecutivo	2
Introducción	3
Objetivos.....	4
Marco teórico	5
Metodología	17
Resultados	19
Análisis de resultados.....	35
Conclusiones	44
Recomendaciones	45
Referencias	46
Apéndices.....	48
Anexos	64

Prefacio

El proyecto desarrollado durante esta práctica profesional dirigida ha sido un aporte a la empresa SPHERA S.A. La metodología desarrollada, así como la herramienta digital se emplearán para crear una base de datos con información sobre materiales y productos de construcción que será utilizada en el proceso de selección y recomendación de materiales en proyectos futuros. Se espera que esta metodología sea también un aporte al movimiento de la construcción sostenible y que permita agilizar el desarrollo al igual que la demanda de información acerca de los materiales de construcción.

El objetivo principal fue desarrollar una metodología para la selección de materiales con base en criterios de sostenibilidad.

A partir de una investigación bibliográfica, se determinó un conjunto de indicadores que permiten realizar una evaluación comprehensiva de los materiales. Se creó una herramienta digital que sirve como plataforma para realizar la evaluación según los indicadores y criterios seleccionados, así como para almacenar y desplegar la información necesaria para el proceso de selección.

Agradezco al Ing. Roberto Meza por brindarme la oportunidad de realizar la práctica en la empresa SPHERA S.A., así como brindarme el apoyo durante la realización de esta. De igual manera, se le agradece a todo el equipo de SPHERA por su colaboración durante el desarrollo de este proyecto.

Muchas gracias a todos los profesores del Tecnológico de Costa Rica por transmitir sus conocimientos, ya estos forman parte de la formación integral necesaria para consolidarse como un profesional.

Agradecimientos para mi familia por brindarme el apoyo necesario para salir adelante en momentos de duda.

Un agradecimiento especial al Ing. Rolando Fournier por brindarme la guía necesaria para desarrollar el proyecto satisfactoriamente en un

tema innovador y complejo como lo es la selección de materiales con base en parámetros de sostenibilidad.

Resumen ejecutivo

El presente trabajo es un primer acercamiento para desarrollar una metodología que permite una selección de materiales basada en criterios de sostenibilidad. El trabajo se realiza bajo la modalidad de práctica profesional dirigida en la empresa SPHERA, por lo que la metodología desarrollada se entrega a la empresa para ser utilizada en el proceso de decisiones, que involucran la selección y recomendación de materiales para clientes interesados en desarrollar proyectos de construcción sostenibles.

La metodología desarrollada consiste en un cuadro de decisiones que conduce a la selección final de un producto o material para la construcción con base en criterios de sostenibilidad. Los pasos por seguir en el esquema de decisiones son los siguientes:

1. Determinar la función que debe satisfacer el producto o material
2. Definir las necesidades del proyecto que se deban cumplir
3. Determinar las posibles opciones
4. Evaluar y comparar las alternativas
5. Según la evaluación, seleccionar y documentar la selección.

Para obtener una herramienta funcional, fue necesario realizar una serie de actividades que permitieran el cumplimiento de cada uno de los pasos mencionados.

Se realizó un análisis para definir cuáles son las categorías de materiales bajo las cuales estos pueden ser agrupados según su función, con el fin de permitir la comparación de materiales que deben cumplir la misma función.

Los intereses deben ser definidos por el cliente. Dado que en este caso se enfatiza el tema de sostenibilidad, se determinaron tres dimensiones para evaluar los materiales: ambiental, técnica y socioeconómica.

Con el fin de evaluar el desempeño de cada material y el producto de construcción en cada una de las dimensiones establecidas, fue

necesario determinar los indicadores respectivos. Mediante una investigación bibliográfica, se determinaron los indicadores más relevantes.

Como medio para comparar de manera sencilla un material con otro, fue necesario desarrollar un sistema de puntuación que reflejara y resumiera el desempeño del material con respecto a cada indicador y con respecto a cada dimensión.

Finalmente, se creó una herramienta digital en Microsoft Excel que sirve como plataforma para aplicar la metodología. Esta cuenta con la capacidad para:

- Introducir datos para la evaluación de materiales y productos de construcción.
- Almacenar la información de cada material que se evalúa con el fin de crear una base de datos.
- Resumir la información con el fin de agilizar la comparación de materiales

Los resultados obtenidos a raíz del desarrollo de este proyecto consisten en un primer acercamiento a un tema innovador, complejo y dinámico. Se recomienda continuar con el desarrollo de la metodología con el fin de perfeccionarla.

Introducción

Actualmente, la humanidad se encuentra en medio de una crisis global, producto de un desarrollo desenfrenado proveniente de la Revolución Industrial. El planeta se encuentra abrumado por la actividad humana, hay ambientalistas quienes consideran que es demasiado tarde para revertir el daño causado (Kibert, 2008). Debido a la necesidad de reducir el impacto de las actividades humanas, durante los últimos años ha tomado auge la construcción sostenible. En el mundo y en Costa Rica hay quienes, al realizar proyectos enfocados hacia el desarrollo sostenible, están tratando de reducir el impacto ambiental y social que tiene el sector construcción. Estas iniciativas son muy importantes para el país, tanto en el ámbito ambiental como en el social. Costa Rica es un país que se vende al mundo como un paraíso turístico por sus riquezas naturales y sus esfuerzos de conservación; sin embargo, este esfuerzo de conservación no siempre se integra en todos los sectores, por ejemplo el sector transporte y el de construcción. Si queremos avanzar como sociedad comprometida con la sostenibilidad, es indispensable implementar estos conceptos en la industria de la construcción.

En países desarrollados, la industria de la construcción es responsable de consumir aproximadamente el 40% de los recursos naturales extraídos, las edificaciones son responsables de producir el 30% de los gases de efecto invernadero, incluyendo un 18% adicional si se toma en cuenta la producción y transporte de materiales de construcción. (Castro-Lacouture, Sefair, Florez, & Medaglia, 2009)

El desarrollo sostenible no es un concepto nuevo en el país; sin embargo, la industria de la construcción históricamente se ha resistido a los cambios. Se estima que en Costa Rica la industria de la construcción contribuye con aproximadamente 283.000 toneladas de CO₂ equivalente (Murillo, 2015). Para beneficio de todos, la construcción sostenible ha tomado auge

en el país en años recientes. Costa Rica, junto con Panamá, son líderes en la región con la mayor cantidad de edificios certificados LEED. El ejemplo más claro de esto es la certificación LEED del Banco de Costa Rica en Nicoya, la cual alcanzó el nivel platino, el más alto posible. Este es el primer proyecto público certificado, por lo que cambia el precedente y eleva los estándares para los próximos proyectos públicos.

Existen muchas maneras de incluir conceptos de sostenibilidad en un proyecto de construcción. Una manera eficaz de lograrlo es mediante una cuidadosa selección de materiales. Sin embargo, la selección como tal de los materiales es muy compleja. Existe gran variedad de productos para la construcción, sin embargo, en nuestro país poco se conoce del impacto que estos causan en el ciclo de vida, en el ambiente natural, en el entorno construido y la salud del usuario.

La construcción sostenible depende de muchos actores, pero ya se ha identificado en el proceso de ejecución de un proyecto que una selección cuidadosa de materiales sostenibles es la manera más sencilla de incorporar prácticas sostenibles a la construcción (Akadiri, Olomolaiye, & Chinyio, 2013). Utilizar materiales sostenibles tiene muchos beneficios, no solo se reduce el impacto ambiental directo a causa de la extracción y manufactura de los materiales, sino que también se reducen los costos de operación de las edificaciones debido a un mejor desempeño energético. Con la creación de un ambiente interno sano, la productividad de los trabajadores puede incrementarse hasta en un 25% (Ries, Bilec, & nuri Mehmet Gokhan, 2006), lo cual resulta en mayor eficiencia y beneficios económicos. También hay que tomar en cuenta que se beneficiarán las poblaciones locales al utilizar materiales producidos localmente.

Debido a que no existe un consenso sobre lo que es un material sostenible, mucho menos una metodología internacionalmente aceptada para la selección de materiales que contemple todos los

aspectos de la sostenibilidad. Así nace la idea del desarrollo del proyecto, cuyo objetivo principal es desarrollar una metodología que facilitara la selección de materiales sostenibles por parte de la empresa consultora SPHERA. El fin fue obtener una herramienta que permitiera realizar comparaciones entre productos similares para determinar, en conjunto con el cliente, cuál material es el más adecuado para cumplir con los intereses del proyecto/cliente, según criterios de sostenibilidad.

Dada la gran cantidad de información necesaria y su poca disponibilidad inmediata, el proyecto se limitó a plantear los cimientos para el desarrollo de una herramienta funcional que permita seleccionar materiales según parámetros de sostenibilidad. Para esto fue necesario realizar las siguientes actividades.

Primero se realizó, junto con SPHERA, una recopilación de información existente producto de proyectos previamente realizados por la empresa en el pasado. De esta lista de productos o materiales de construcción, se seleccionaron los de mayor interés para incluirlos preliminarmente dentro de la herramienta.

Se realizó una investigación exhaustiva sobre los sistemas de evaluación de materiales y metodologías de evaluación y certificación de edificaciones para determinar los parámetros por incluir dentro de la herramienta. A partir de esta investigación, se obtuvo una lista de indicadores que sirven para determinar el impacto de cada producto en cada dimensión de la sostenibilidad; a su vez, permiten la comparación entre productos.

Para poder realizar una comparación preliminar de materiales se desarrolló un sistema de puntuación para evaluar el desempeño e impacto de cada producto según los criterios definidos, con el objetivo de realizar una preselección de materiales.

Con base en la información obtenida de la herramienta, se procede a realizar el proceso de análisis de los materiales junto con el cliente para la toma de decisiones.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar una metodología para facilitar la evaluación y selección de materiales y productos para la construcción con base en parámetros de sostenibilidad

Objetivos específicos

- Determinar los rubros para categorizar materiales según su función.
- Determinar los principales indicadores para evaluar los productos de construcción.
- Desarrollar un sistema de puntuación así como asignar pesos respectivos a cada indicador.
- Crear una herramienta en Excel utilizando Visual Basic, para almacenar y analizar los datos para cada material.
- Realizar una corrida piloto para validar el funcionamiento de la herramienta digital.

Marco teórico

Sostenibilidad

Producto de la Revolución Industrial, surge un modelo de desarrollo que propone el crecimiento y la expansión económica ilimitados. Este modelo ha regido el desarrollo de las industrias y la economía por el último siglo. Sin embargo, es evidente que no se puede mantener un crecimiento ilimitado con una cantidad de recursos limitados. En la década de los 70, se comienza una discusión de la necesidad de cambiar el modelo de desarrollo. En 1972 se publica el informe “Los límites del crecimiento” y se comienza a cuestionar la capacidad del planeta para soportar un crecimiento descontrolado (Casañas, 2011).

La sostenibilidad o desarrollo sostenible se define tradicionalmente como: “satisfacer las necesidades de la sociedad del presente sin comprometer la habilidad de generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades” (1987). Así se define en la publicación de 1987 “*Nuestro futuro común*” por La Comisión Mundial de Desarrollo y Ambiente. El año 1987, a raíz de esta publicación, se acepta generalmente como el inicio del movimiento contemporáneo del desarrollo sostenible (Kibert, 2008). Sin embargo, el concepto como tal no es nuevo, ha estado presente en algunas culturas por cientos de años, como por ejemplo la filosofía de los nativos norteamericanos al consultar con los espíritus de las generaciones futuras acerca de decisiones importantes que los pudieran afectar, mejor dicho, contemplaban el bienestar de futuras generaciones (Spigel, Meadows, 2012). Los griegos también comprendían cómo sus acciones impactaban en el ambiente que los rodeaba.

Así pues, la sostenibilidad se trata de integrar metas de alta calidad de vida, salud y prosperidad con justicia social, manteniendo la capacidad de la Tierra para soportar la vida en toda su diversidad. Estas metas sociales,

económicas y ambientales son interdependientes, se refuerzan mutuamente. El desarrollo sostenible se puede ver como una manera de expresar las expectativas generales de la sociedad (ISO, 2016).

La sostenibilidad tiene tres componentes o dimensiones principales. La dimensión social considera las necesidades y bienestar tanto de generaciones actuales como futuras. La dimensión ambiental considera y busca reducir el impacto en el ambiente causado por la contaminación, explotación de recursos y actividades humanas. La dimensión económica busca cuantificar el límite tolerable de consumo y utilización de recurso. Además, es una perspectiva que reconoce la interacción e interdependencia de las tres dimensiones (Speigel & Meadows, 2012).

Construcción sostenible

En sus inicios, la construcción buscaba como resultado la belleza y tenía bases muy arquitectónicas. Con el avance de las tecnologías y la necesidad de realizar proyectos de mayor envergadura, se adopta el paradigma de la construcción tradicional, el cual consiste en buscar un balance entre costo, calidad y tiempo. Mediante este paradigma se busca la rentabilidad en los proyectos, tanto para el cliente como para el constructor, así como la seguridad de los usuarios mediante valores de calidad. Este paradigma aún rige muchos diseños y procesos constructivos.

Producto de la creciente concientización, derivada del movimiento de sostenibilidad, se comienzan a incorporar más conceptos al paradigma de la construcción. Primero es el impacto ambiental, luego se incorporan los aspectos de sociedad y cultura. De esta manera, comienza a surgir la construcción sostenible, la

cual aborda un pensamiento holístico sobre la construcción y toma en cuenta los impactos en el ambiente y la sociedad, siempre de la mano del crecimiento económico (Casañas, 2011).

En 1970 se desarrolló el concepto de edificaciones verdes, para la construcción y diseño de edificaciones sostenibles (Murillo, 2015). Sin embargo, el concepto de sostenibilidad se comienza a introducir en la construcción hasta los inicios de los años 90 en Europa. En el Reino Unido se desarrolló el Building Research Establishment Environmental Assessment Method, o BREEAM por sus siglas en inglés, es el primer método de evaluación desarrollado para aplicar y evaluar los conceptos de sostenibilidad en proyectos de construcción.

La industria de la construcción está ligada de alguna manera a todas las otras industrias del país, ya sea en la extracción de materiales, manufactura de productos de todo tipo para la construcción, transporte, además de muchos servicios como arquitectura, planificación, diseño,

venta y distribución. Le podemos agregar a esto que virtualmente todo ciudadano depende y es afectado por el ambiente construido. Es por esto que según varios autores, la industria de la construcción es un ámbito estratégico para lograr un cambio social, económico y ambiental (Casañas, 2011).

La sostenibilidad en la construcción debe verse holísticamente, es decir, engloba todos los aspectos del proyecto durante todo su ciclo de vida. Se debe tomar en cuenta las dimensiones sociales, económicas y ambientales, determinar el impacto que el proyecto va a tener en cada una de estas para así elaborar e implementar estrategias para reducir dicho impacto. La sostenibilidad comienza en un proyecto de construcción desde la etapa del prediseño, seguida de la etapa de diseños, construcción, operación y demolición o, preferiblemente deconstrucción.

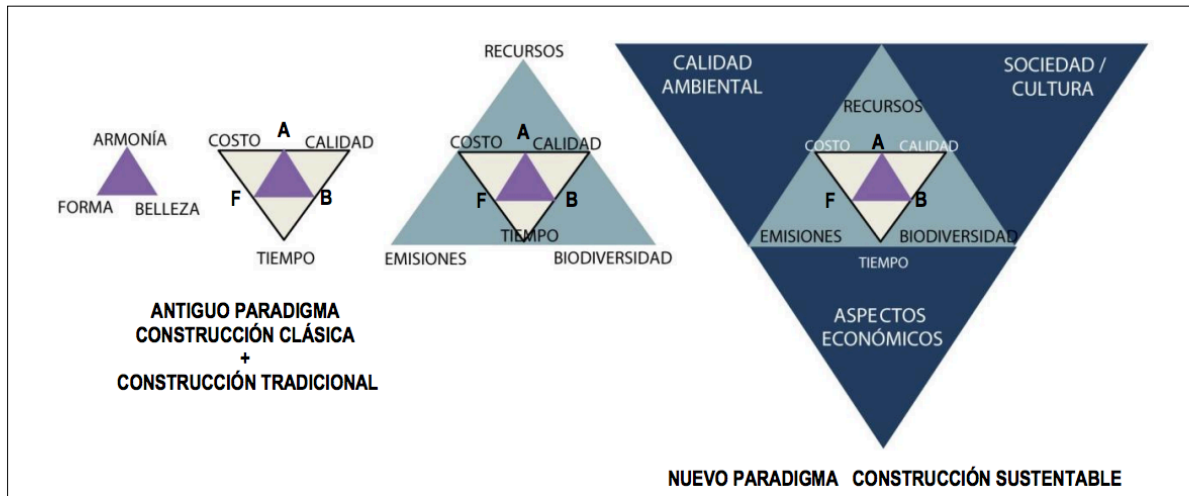


Figura 1. Evolución del concepto de construcción sostenible
Fuente: (Casañas, 2011)

La sostenibilidad se puede introducir en la construcción de muchas maneras. Se puede lograr mejoras significativas mediante un buen diseño, uso de tecnologías innovadoras, buenas prácticas durante el proceso constructivo y utilización de materiales sostenibles. Sin embargo, la construcción verdaderamente sostenible se compone de una combinación cuidadosa de todas las estrategias mencionadas. Existen muchas herramientas de certificación que sirven como guía para desarrollar y evaluar la sostenibilidad de los proyectos de construcción.

Certificaciones internacionales

Se han desarrollado numerosos métodos de evaluación y certificación alrededor del mundo. Estas funcionan también como guías para desarrollar proyectos sostenibles. En Europa, el sistema BREEAM sigue siendo el más utilizado y actualmente se aplica en más de 60 países.

En Estados Unidos, se creó el Consejo de Construcción Sostenible (USGCB) en 1993. Después de cuatro años de desarrollo, en 1998 surge la primera versión del sistema de evaluación Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental, o LEED por sus siglas en inglés. En el 2000 se lanza una versión sustancialmente mejorada, LEED 2.0. Luego en el 2003 sale LEED 2.1. (Kibert, 2008). LEED es un sistema de evaluación que sirve como una guía para implementar y medir conceptos de sostenibilidad en los proyectos de construcción. Se evalúan las siguientes categorías:

- Ubicación y transporte
- Sitios sostenibles
- Uso eficiente del agua
- Energía y atmósfera
- Materiales y recursos
- Calidad del ambiente interno
- Innovación
- Prioridad regional

Cada una de las categorías cuenta con una cantidad de prerrequisitos y créditos. Según el cumplimiento de cada crédito se van obteniendo puntos. Se basa en un sistema de puntuación de máximo 110 puntos. Se puede obtener los siguientes niveles de certificación:

- Certificado, 40-49 puntos
- Plata, 50-59 puntos

- Oro, 60-79 puntos
- Platino, 80-110 puntos

Desde su lanzamiento, LEED ha sido muy exitoso y ha sido utilizado en muchos países alrededor del mundo. La versión actual es LEED 2009, sin embargo, ya está disponible LEED v4 (versión 4), y a partir de septiembre del 2016 solo se podrán registrar proyectos bajo LEED v4 para obtener la certificación. Cada versión se vuelve más exigente y busca incorporar nuevas tendencias y tecnologías. La misión de LEED es promover la transformación de la industria de la construcción mediante estrategias diseñadas para alcanzar siete metas (U.S. Green Building Council, Inc. , 2013),

- Revertir las contribuciones negativas al cambio climático global
- Aumentar el bienestar y la salud humana individual
- Proteger y restaurar recursos hídricos
- Proteger, mejorar y restaurar los ecosistemas y la biodiversidad
- Promover ciclos regenerativos y sostenibles de recursos materiales
- Construir una economía sostenible
- Mejorar la igualdad social, justicia ambiental, salud de la comunidad y calidad de vida

Herramientas de evaluación existentes

En 1994 surge el SBTool, creado por una organización internacional conformada por un conjunto de países que formaron la Iniciativa Internacional para un Ambiente Construido Sostenible (iiSBE).

El iiSBE tiene como objetivo que el SBTool sirva de guía para acelerar el desarrollo de sistemas de evaluación y aplicación en diferentes países. Este sistema tiene la ventaja de que se pueden ajustar algunos criterios y pesos para brindar una evaluación más certera según la localidad. Utilizando el SBTool como base se han desarrollado normas en varios países. En Portugal (SBTool PT), Italia (Protocolo) y España (Verde) (Larsson, 2015), por mencionar sólo algunos.

IE4B

El Estimador de Impacto para Edificios (IE4B) es una herramienta gratuita, desarrollada por el Athena Sustainable Building Institute, para estimar el impacto de una edificación considerando su ciclo de vida. Esta herramienta utiliza la información de la base de datos de Athena. Este instituto se creó en 1997 y fue pionero en análisis de ciclo de vida (ACV) en Norteamérica (Athena Institute, 2016). Desde entonces ha acumulado gran cantidad de información sobre materiales.

La herramienta tiene como objetivo estimar el impacto ambiental de una edificación. Los resultados del impacto se presentan en las siguientes categorías:

- Consumo de combustibles fósiles (MJ)
- Potencial de calentamiento global GWP (*global warming potential*) (toneladas de CO₂ eq)
- Potencial de acidificación (moles de H⁺ eq)
- Criterios de salud humana
- Eutrofización (g N eq)
- Potencial de agotamiento de ozono ODP (*ozone depletion potential*)
- Potencial de smog

Herramientas como esta existen varias, y pueden ser muy útiles para obtener un resultado preliminar y aproximado del impacto de una edificación, como se muestra en el anexo A. Sin embargo tiene muchas limitantes. Está programada para ser utilizada dentro de los Estados Unidos. Debido a que se basa en información de la base de datos de ACV, se deben seleccionar los sistemas constructivos y demás componentes de la edificación de una lista predeterminada, esto limita la aplicación de la herramienta. Sin embargo, la herramienta consiste en un archivo de Excel que está libre para descargar por el público general.

Otra herramienta similar a IE4B es el BEES software (Building for Environmental and Economic Sustainability). Sus siglas representan Construyendo para sostenibilidad ambiental y económica. Esta herramienta consiste en una aplicación web, BEES Online, desarrollada por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología, NIST por sus siglas en inglés (National Institute of Standards and Technology).

Esta aplicación es una herramienta para seleccionar productos para la construcción según una evaluación de los aspectos ambientales y económicos como se muestra en el anexo C. El desempeño ambiental de los productos se evalúa utilizando la norma ISO 14040. El desempeño económico se evalúa según los estándares de ASTM para costo de ciclo de vida (National Institute of Standards and Technology, 2014).

En Costa Rica

En el ámbito nacional existe Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico (RESET). Es una norma nacional desarrollada por INTECO y el Instituto de Arquitectura Tropical para certificar edificaciones según su desempeño en el ámbito sostenible. Desgraciadamente no ha tenido mucho éxito en el país y solo cuenta con un edificio certificado desde su concepción en 2012.

La norma RESET busca evaluar el desempeño de las edificaciones durante todo su ciclo de vida. Está compuesta por siete capítulos, que a su vez están divididos en objetivos, 21 en total. Los capítulos son los siguientes:

- Aspectos socioeconómicos
- Entorno y transporte
- Calidad y bienestar espacial
- Suelos y paisajismo
- Materiales y recursos
- Uso eficiente del agua
- Optimización energética

(INTECO, 2014).

Para cumplir con la certificación y obtener el sello RESET, se debe obtener la totalidad de los puntos exigidos. El capítulo de RESET correspondiente a materiales se puede consultar en el anexo G.

Impacto general de la construcción en el mundo y en Costa Rica

A lo largo de la historia, la humanidad ha logrado modificar su entorno para satisfacer sus necesidades. En un comienzo se satisfacen las necesidades básicas de refugio, con el avance de la ciencia y la tecnología es posible satisfacer

cada vez más necesidades. En sus inicios, la construcción consistía en emplear materiales naturales disponibles en el entorno cercano. Por un largo periodo de tiempo se utilizaron materiales como el cuero, adobe y paja e inclusive piedra en construcciones elaboradas. A mediados del siglo XVII, comienza a utilizarse materiales como el ladrillo y la cal (Casañas, 2011).

En la actualidad, todos los aspectos de la vida cotidiana están afectados de alguna manera por el ambiente construido y es difícil imaginar la vida sin este. La construcción tiene un gran y creciente impacto en el ambiente, utiliza aproximadamente el 40% de los recursos naturales extraídos en países desarrollados, consume el 70% de la electricidad y el 12% del agua potable; además, produce entre el 45 y el 65% de los desechos depositados en botaderos. La explotación de recursos y su transporte son responsables de producir 18% de los gases de efecto invernadero. (Castro-Lacouture, Sefair, Florez, & Medaglia, 2009)

Según el Consejo de Construcción Verde de Estados Unidos (USGBC), el impacto de la construcción ha generado implicaciones negativas sobre la salud humana y la economía, algunas de estas consecuencias son:

- El cambio de uso de tierra, la destrucción de hábitats naturales y la degradación del suelo.
- La extracción, manufactura y transporte de materiales, que causan contaminación en el agua y el suelo, que liberan productos químicos tóxicos y que generan emisiones de gases de efecto invernadero.
- Las operaciones de los edificios implican consumo de grandes cantidades de agua y energía, además generan cantidades de residuos importantes.
- El transporte hacia y desde los edificios por los funcionarios y proveedores de servicios, implica impactos ambientales negativos asociados con el uso del vehículo, el aumento del consumo de energía y la contaminación atmosférica.

(U.S. Green Building Council, Inc. , 2013).

El ambiente no es el único perjudicado por la industria de la construcción, la salud humana se ve directamente afectada. La vida cotidiana está

determinada por el ambiente construido. En promedio una persona que habita en una ciudad pasa el 90% de su tiempo en el interior de una edificación (International WELL Building Institute PBC, 2015). El diseño y los materiales que componen las edificaciones pueden tener un impacto negativo en la salud si no se toman algunos factores en consideración. En edificaciones construidas con mucho acero y concreto reforzado se puede presentar el síndrome del edificio enfermo, que literalmente provoca problemas de salud a sus usuarios (Fournier Zepeda, 2008).

También se pueden presentar problemas de salud en las personas producto de la acumulación de químicos que son emanados por los materiales. Todos los materiales emanan químicos, en general esto no es un problema ya que las concentraciones no son suficientes para causar daño a los humanos. Sin embargo, la búsqueda de eficiencia energética ha producido que las edificaciones sean cada vez más herméticas. Los edificios herméticos presentan el problema que la acumulación de los químicos liberados por los materiales contamina el aire a niveles que sí afectan la salud humana. Las estadísticas muestran un incremento de hasta dos a tres veces más en el padecimiento de distintos tipos de alergias en la población europea durante las últimas décadas, como consecuencia de los químicos utilizados en productos (Braungart & William, 2006).

Productos y materiales para la construcción

Para efectos de este trabajo, se define el producto para construcción como aquel elemento o material que se instala permanentemente en la edificación.

Al abordar el tema de materiales para la construcción, en el libro *Green Building Materials: A Guide to Product Selection and Specifications* (Speigel & Meadows, 2012), se recomienda que al seleccionar materiales siempre hay que preguntarse lo siguiente:

- ¿Qué estamos utilizando?
- ¿Qué tan bien lo estamos utilizando?

Al responder estas dos preguntas de manera adecuada y a profundidad, se evidencia el impacto o el beneficio al utilizar cada material.

Ciclo de vida de los materiales

El ciclo de vida de los materiales consiste tradicionalmente en varios procesos, desde la extracción de materias primas, producción, transporte, utilización, hasta su descarte o fin de la vida útil. El ciclo de un material tradicionalmente se considera como el modelo de la cuna a la tumba. Este es un modelo lineal y supone que una vez el material haya cumplido su función, su vida útil llega a su final y es desechado.

Según (Bakhoum & Brown, 2012), se pueden considerar tres etapas en el ciclo de vida de un material de construcción:

- 1- Fase I: Extracción hasta la puerta de entrada
 Consiste en todos los procesos desde la extracción de materias primas, procesamiento y transporte hasta la entrega en la construcción.
- 2- Fase II: Puerta de entrada a puerta de salida
 Consiste en la utilización y colocación de los productos en la obra, contempla el proceso constructivo.
- 3- Fase III: Puerta de salida a demolición
 Empieza una vez concluida la fase de construcción, contempla la operación y mantenimiento así como la demolición o deconstrucción de la edificación.

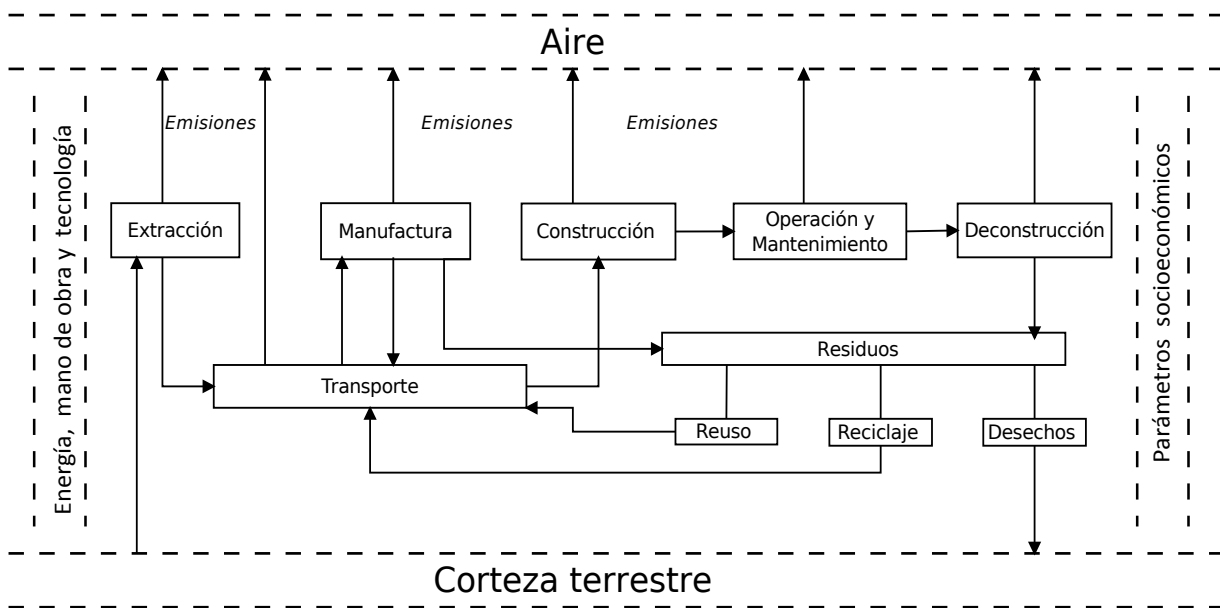


Figura 2. Representación del ciclo de vida de materiales de construcción
 Adaptado de (Bakhoum & Brown, 2012). Elaborado en DIA

Durante cada una de estas etapas se generan impactos distintos en cada una de las dimensiones de la sostenibilidad. A continuación se describen los principales impactos por fase de ciclo de vida.

Fase I

En esta fase los impactos son principalmente en el ambiente. Durante la extracción de materiales se genera deforestación, alteración y destrucción de hábitats naturales, erosión, contaminación y agotamiento de recursos. En esta fase se

incluyen los impactos del transporte, esto genera grandes emisiones de CO₂ a la atmósfera y contribuye en gran medida con el calentamiento global.

Durante los procesos de fabricación, los mayores impactos son el uso intensivo de energía de fuentes no renovables, contaminación, generación de residuos, liberación de químicos tóxicos.

La carga ecológica de un material es directamente proporcional a la cantidad de material que debe ser desplazado o procesado para obtener la materia prima o el producto; por ejemplo: cemento, acero, aluminio.

Cuadro 2. Material desplazado para obtener una unidad de producto	
Material	Materia prima desplazada
Caucho	5
Aluminio	85
Aluminio reciclado	4
Acero	21
Acero reciclado	5

Fuente: (Kibert, 2008) pg. 34

La energía utilizada para la extracción, producción y transporte de productos se considera también un parámetro directamente proporcional al impacto ambiental de un producto.

Fase II

Los mayores impactos durante la etapa constructiva radican en el cambio del uso de suelo, contaminación, consumo de agua y energía y generación de residuos. Durante la construcción y demolición de edificaciones, se generan grandes cantidades de residuos. Se estima que en Costa Rica se generan 1800 toneladas de residuos y escombros al día. (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales (UICN), 2011)

Fase III

Durante la operación de una edificación esta consume energía, agua y en muchos casos

materiales adicionales relacionados a temas de mantenimiento. Además, según los materiales utilizados, se producen emisiones que pueden ser nocivas tanto para los ocupantes como para el ambiente.

Al final de la vida útil de un proyecto de construcción, muchas veces la edificación es considerada de valor nulo, por lo que se demuele. La gran mayoría de los escombros acaban en botaderos clandestinos o rellenos sanitarios. Esto es perjudicial para el ambiente, ya que aparte de generar una inmensa cantidad de residuos, incluyendo residuos tóxicos como metales pesados, se requiere de cada vez más espacio para su acumulación.

Cerrando el ciclo de materiales

El enfoque *Cradle to cradle* (de la cuna a la cuna) es un modelo de economía de ciclo cerrado, desarrollado por Bill McDonough y Michael Braungart, el cual propone que el ciclo de los materiales debe ser un ciclo cerrado. Cuando un material es descartado de una función se convierte en materia prima para servir una nueva función. Este modelo sugiere imitar a la naturaleza, ya que en la naturaleza el concepto de basura no existe, todo es reutilizado en el ciclo natural. Para lograr continuar con el desarrollo sin agotar todos los recursos se debe adoptar el modelo de la naturaleza. "Los residuos son comida, ya sea comida para la Tierra o para un ciclo industrial cerrado. Fabricamos productos que van de la cuna a la tumba. Queremos fabricarlos de la cuna a la cuna" (Braungart & William, 2006).

En un principio la escala de la explotación de materiales parecía no ser una amenaza para el planeta. Debido a la concepción errónea de que los recursos naturales eran ilimitados, ya se han perdido grandes cantidades de materiales debido a un mal manejo de residuos. En un estudio realizado por investigadores sobre la demanda y utilización de metales, se determinó que aproximadamente el 26% de todo el cobre y el 19% del zinc extraíble en la corteza terrestre ya se ha perdido en escombros no reciclados (Kibert, 2008).

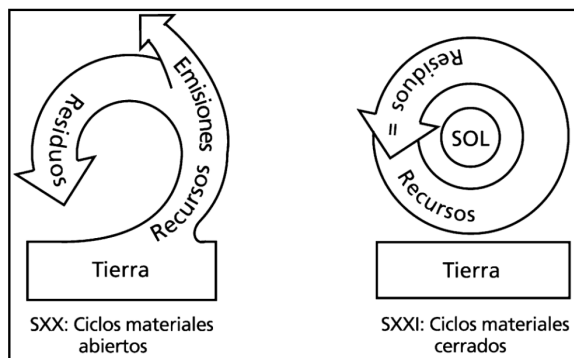


Figura 3. Ciclos materiales

Fuente: (Casañas, 2011)

La figura 3 muestra el ciclo abierto de materiales así como el ciclo cerrado de los materiales. Debido a la cantidad limitada de recursos, será necesario adoptar el ciclo cerrado de los materiales, donde no existe el concepto de desperdicio y todo se utiliza y reutiliza de manera eficiente. Mejor realizar este cambio gradualmente mientras aún hay disponibilidad de recursos. Debido a que la industria de la construcción es de los mayores consumidores de recursos, es primordial intentar cerrar el ciclo en la medida de lo posible.

La construcción y operación de edificaciones a nivel mundial son responsables del consumo del 40% de los recursos naturales, del 12% del agua potable disponible y de la generación de entre 45% y 65% de los desechos. (Suzer, 2015)

Según el Global Footprint Network actualmente la humanidad utiliza el equivalente de 1.6 planetas cada año. Los escenarios moderados de la ONU sugieren que si la tendencia de población y consumo actual se mantiene, para el año 2030 vamos a necesitar el equivalente a 2 Tierras para soportarnos (Global Footprint Network, 2016).

Indicadores normalmente considerados

Energía incorporada

Es la cantidad total de energía consumida en la extracción, producción y transporte de materiales. La energía incorporada de un material o productos de construcción es directamente proporcional al impacto ecológico que éste

genera, principalmente durante la etapa de producción, ya que por lo general se liberan gases de efecto invernadero durante la producción de la energía utilizada y especialmente en el transporte.

Se puede determinar la energía incorporada a través del tiempo para obtener una indicación más real del impacto, ya que si un material con mucha energía incorporada tiene un periodo de vida útil muy largo se compensa durante el tiempo. Por ejemplo, el aluminio tiene mucha energía incorporada, sin embargo, tiene gran durabilidad, por lo que su energía incorporada durante el tiempo en servicio es menor.

Cada material tiene su energía incorporada debido a los procesos por los que se ha sometido durante su transformación desde una materia prima hasta el producto terminado. Se debe además considerar la energía requerida para el transporte. En Costa Rica el único medio de transporte es por camiones, lo que contribuye con los GEI debido a las emisiones de la quema de hidrocarburos. La energía incorporada se considera directamente proporcional al impacto ambiental que tiene un producto.

A continuación, se presentan las cantidades de energías incorporadas para los materiales más utilizados y por lo tanto, estudiados.

Para ilustrar el punto se presentan los resultados de la investigación que realizó (Camacho, 2014) para su tesis de maestría. Él investigó la energía incorporada contenida por metro cuadrado para tres tipologías de vivienda.

Cuadro 3. Energía incorporada por tipología de vivienda		
Tipología	Energía incorporada (MJ/m ²)	Energía incorporada (kWh/m ²)
Vivienda de mampostería	2186,46	607,35
Vivienda prefabricada de concreto	1257,27	349,24
Vivienda de madera	875,33	243,15

Fuente: (Camacho, 2014, Pg. 60)

Para efectos de esta herramienta, se considera la energía incorporada desde la cuna a la puerta, esto quiere decir que se analiza la energía que requiere el producto para su

producción hasta que sale de la fábrica. La energía incorporada de ahí en adelante depende de la ubicación de cada proyecto y procesos constructivos, por lo que esto es muy específico para cada proyecto.

Materiales renovables

Un material renovable se define como un material que tiene la capacidad de restaurarse durante su vida útil. Por ejemplo, la madera de plantación como el pino tiene un ciclo de crecimiento de 10 años como mínimo, pero una pieza de madera puede tener una vida útil de hasta 20 años bajo condiciones óptimas. En este caso, se considera un material renovable.

Reciclable

Aun cuando el material es valioso por sí solo, reciclar una lata de aluminio puede ahorrar suficiente electricidad para operar un televisor por tres horas. Cada botella de vidrio que se recicla ahorra la suficiente energía para encender un bombillo de 100 watts por cuatro horas (Speigel & Meadows, 2012).

Un material que se reutiliza de alguna manera se considera como un material o producto reciclado. Para efectos de este trabajo y la herramienta, se consideran cuatro tipos de reciclaje técnico, según Vefago & Avellaneda, (2013):

- Reúso
 - Se considera reúso cuando el material o producto no sufre ninguna transformación y se puede utilizar para la misma función que en su ciclo de vida anterior. El material no pierde ninguna propiedad, manteniendo la calidad. Ejemplo: metales
- Reciclaje
 - Cuando un material sufre al menos una transformación química o de estado físico, sin perder sus propiedades iniciales. Pueden cumplir la misma función que en su vida anterior. Ej: metales, vidrio
- Infraciclaje
 - Cuando un material sufre transformaciones químicas o de estado físico, pero pierde sus cualidades originales. No pueden cumplir la misma función ya que

no tienen las mismas propiedades. Ej: plástico reciclado

- Infracuso
 - El material no sufre ninguna transformación química ni de estado físico, sin embargo pierde sus propiedades originales o anteriores. No debe satisfacer la misma función que en su ciclo de vida anterior. Ej: concreto triturado utilizado como agregado o material de relleno.

Vale la pena destacar que los materiales de origen natural que se descomponen naturalmente, como la madera, al ser compostados se considera reciclaje por el ciclo biológico. De esta manera, los nutrientes son reintroducidos a la tierra donde estos podrán volver a formar materia vegetal.

Selección de materiales

La selección de materiales para proyectos de construcción es uno de los grandes desafíos que enfrenta el equipo de diseño. Debido a la gran cantidad de alternativas y criterios de selección, es un proceso complejo que requiere realizar un análisis multicriterio.

El método de decisión de análisis multicriterio permite descomponer problemas complejos, que dependen de muchos factores, en problemas más sencillos.

Para evaluar el impacto de materiales o edificaciones, hay dos métodos aceptados para realizarlo. El mejor es el análisis de ciclo de vida, ya que brinda información acerca de varias etapas a través del ciclo de vida de un material o una edificación. El otro método es el análisis multicriterio, que busca comparar la importancia de los distintos criterios para tomar una decisión.

Elegir un material con base en criterios de sostenibilidad es un problema complejo, ya que involucra muchos factores y generalmente, implica relaciones complejas. Además, muchos de estos factores afectan en alguna medida a los otros.

En la práctica común se utilizan criterios técnicos para seleccionar materiales. Sin embargo, al tomar en cuenta todas las dimensiones de la sostenibilidad, hay parámetros

que no son cuantificables, sino que son cualitativos. Florez & Castro-Lacoture (2013), proponen un modelo para la selección de materiales que utiliza tanto factores objetivos como subjetivos, con el fin de tomar en cuenta factores como la percepción y la estética de los productos. El cuadro 4 muestra los criterios empleados por Flores y Castro-Lacoture (2013):

materiales. En la figura 5 se muestra la propuesta del equipo de Baharetha para unificar los criterios para seleccionar materiales más sostenibles.

Cuadro 4. Instrumento de medición de sostenibilidad	
Dimensión de sostenibilidad	Indicador
Calidad	Ordinario-extraordinario
	No confiable-confiable
	Temporal-permanente
Funcionalidad	Inutilizable-funcional
	No práctico-práctico
	Inútil-útil
Percepción del usuario	Feo-atractivo
	Dañino-beneficioso
	Decepcionado-satisfecho
Ingenio	Dispendioso-ingenioso
	Ineficiente-eficiente
	Común-innovador
Adquisividad	Dispuesto a comprarlo-no dispuesto a comprarlo
	No querer comprarlo-querer comprarlo

Fuente: (Florez & Castro-Lacoture, 2013)

Existen propuestas que presentan una serie de indicadores que en conjunto buscan evaluar los materiales en todas sus dimensiones. Baharetha, Al-Hammad, & Alshuwaikhat (2013), argumentan que uno de los grandes problemas que impide la adecuada selección de materiales, con base en criterios de sostenibilidad para los proyectos de construcción, es que no existe una serie de criterios internacionalmente aceptada como base para evaluar los materiales. Esta añade dificultad a un proceso que ya es complicado debido a la cantidad de productos disponibles en el mercado. Como parte de su investigación Baharetha y su equipo determinaron la variabilidad en la clasificación de criterios para la evaluación y selección de materiales. En la figura 4, se muestran las clasificaciones de criterios para tomar en consideración a la hora de seleccionar

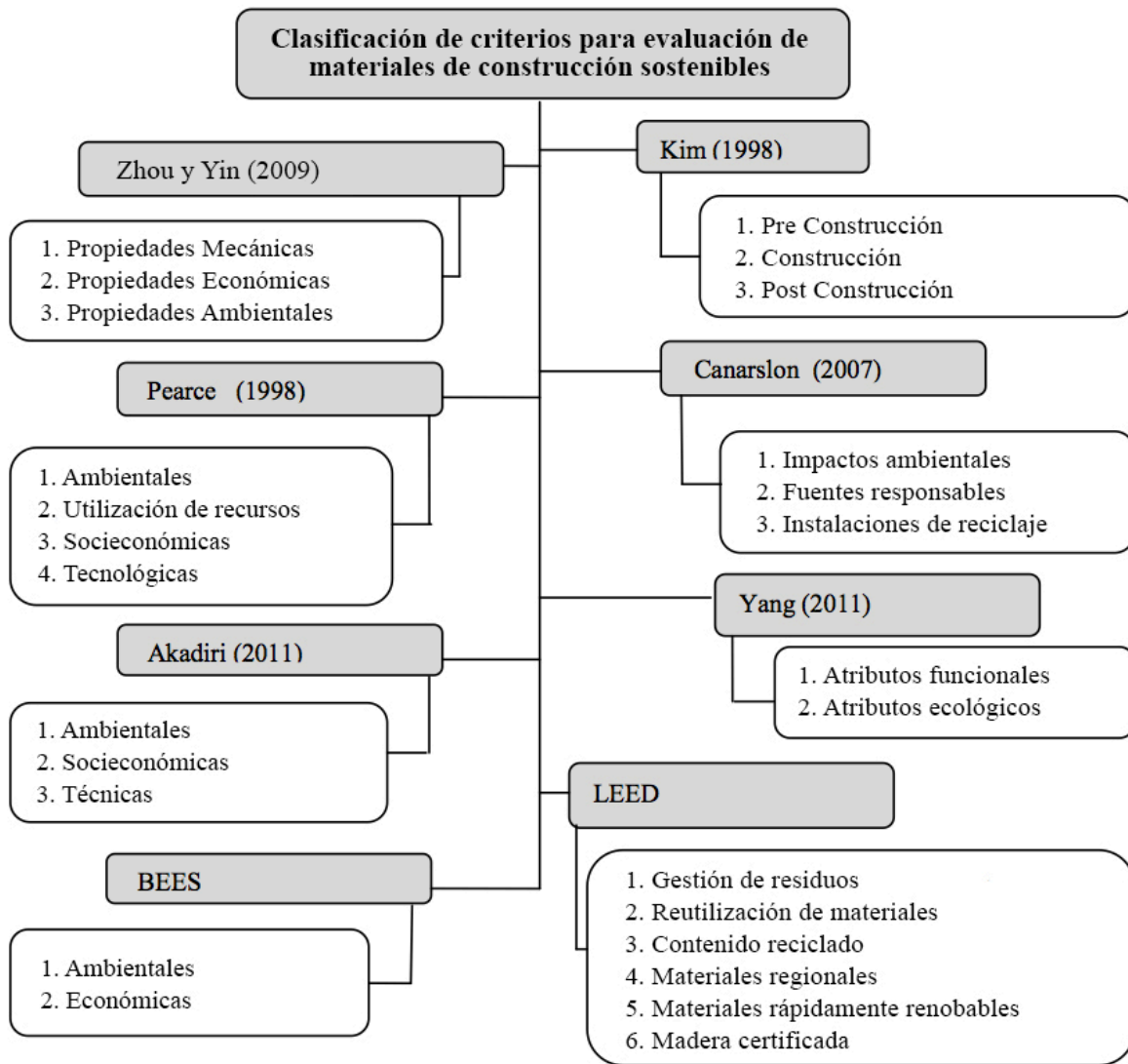


Figura 4: Clasificación de criterios de sostenibilidad
Fuente: (Baharetha, Al-Hammad & Alshuwaikhat, 2013)

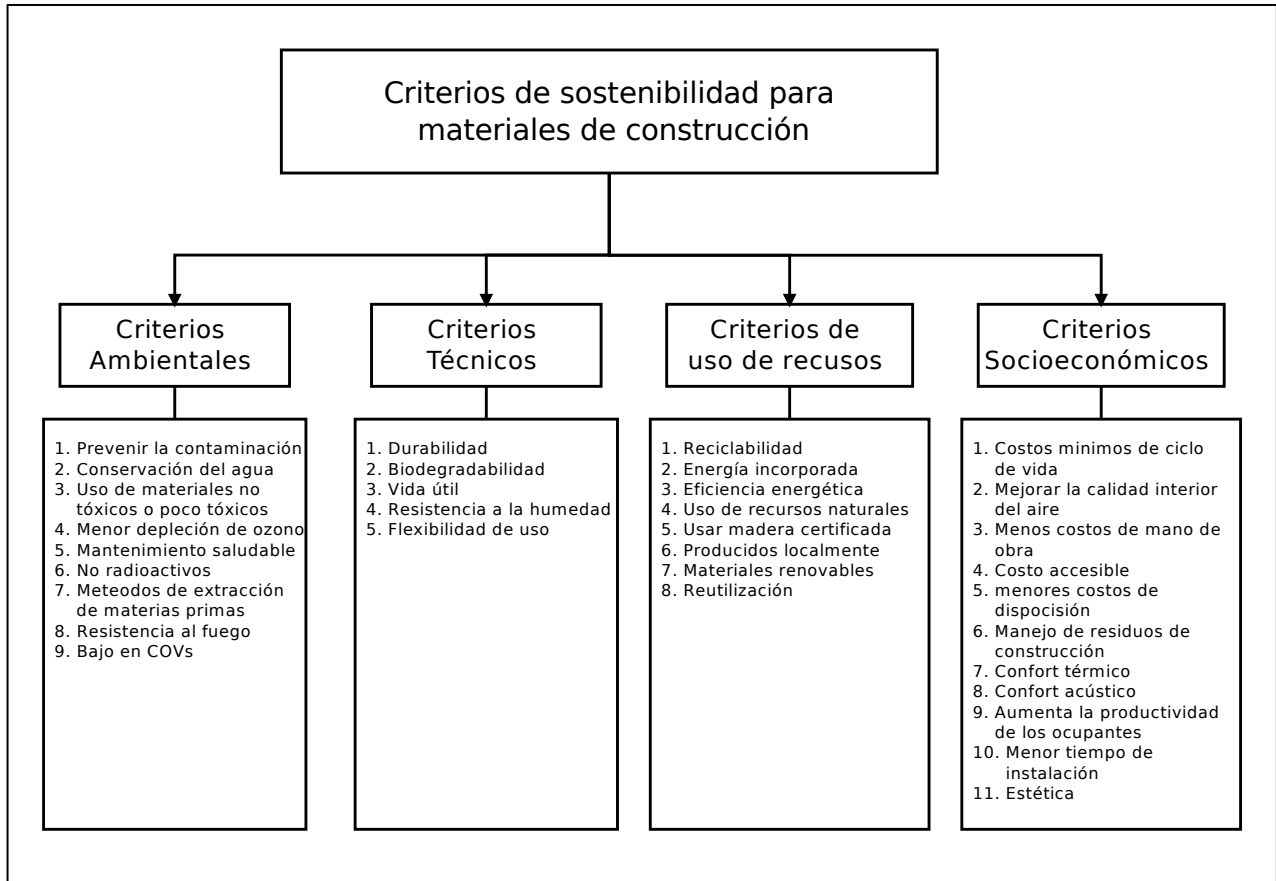


Figura 5. *Propuesta de criterios para seleccionar materiales para la construcción*
Fuente: (Baharetha, Al-Hammad, & Alshuwaikhat, 2013)

Metodología

Para desarrollar el trabajo y cumplir los objetivos planteados, fue necesario realizar una serie de actividades que en conjunto permitieron obtener los resultados.

Rubros de construcción

El primer paso fue determinar cuáles rubros de la construcción incluir preliminarmente dentro de la herramienta, como primera decisión para categorizar y comparar los materiales. Dichos rubros sirven como categorías, bajo las cuales se agrupan los materiales de acuerdo a su función o propiedades.

Para determinar los rubros se realizó una revisión de los proyectos realizados previamente por SPHERA, para determinar cuáles rubros utilizaban la mayor cantidad de materiales; por lo tanto, estos son los rubros que tienen mayor impacto tanto en el ambiente como en la edificación y sus ocupantes una vez terminada.

Se revisó el presupuesto de materiales de los siguientes proyectos:

- BCR Nicoya
- ArthroCare
- Smith & Nephew
- Hotel Olas Verdes
- Zona Franca el Coyol
- UPAZ (Universidad para la Paz)

Una vez obtenidos los rubros según los proyectos, se realizó un focus group en SPHERA con el Ing. Roberto Meza y la Arq. Cristina Hidalgo para determinar los más relevantes. Se utilizó la nomenclatura del National Specification Institute *MasterFormat® 2014* para facilitar el intercambio de información entre las partes involucradas en un proyecto.

Indicadores de sostenibilidad

Se realizó una investigación bibliográfica para determinar cuáles son los parámetros, indicadores y criterios que usan las herramientas existentes para evaluar materiales y productos para la construcción. También se consultaron varias publicaciones relacionadas con el tema de selección de materiales con base en criterios de sostenibilidad. En el anexo D se muestra la propuesta realizada por Akadiri (2011). En el anexo E se muestra el modelo de evaluación creado por Bakhoun y Brown (2013). Ambas fueron utilizadas como guía en el proceso de identificación y selección de indicadores.

Entre la bibliografía consultada se destacan las siguientes publicaciones:

- LEED BD&C v4 Reference Guide
- RESET
- SBTool
- GREEN BUILDING MATERIALS *A Guide to Product Selection and Specifications*
- Developed sustainable Scoring System for Structural Materials Evaluation
- Towards a Unified Set of Sustainable Building Materials Criteria
- Multi-criteria evaluation model for the selection of material of sustainable building project
- Optimization model for sustainable materials using objective and subjective factors

De las publicaciones, herramientas y métodos mencionados anteriormente, se obtuvo una lista preliminar de indicadores y criterios para evaluar materiales. Una vez obtenida esta lista se realizó una selección de los criterios según sus implicaciones. Durante este proceso hubo una continua consulta a los compañeros de SPHERA, quienes brindaron sus opiniones profesionales para aportar a la selección definitiva de criterios. Así, mediante un criterio de expertos se obtuvo la lista final de indicadores.

Se pretende que la metodología desarrollada sea aplicable a cualquier material, indiferente de su función, por lo que deliberadamente los criterios de evaluación son tanto subjetivos como objetivos, debido a la gran cantidad de materiales y funciones distintas que cumplen estos.

Sistema de puntuación

Es necesario crear un sistema de puntuación que permita resumir la información y las características de cada material. Un sistema de puntuación permite comparar los productos de construcción de manera sencilla según el resultado numérico de su evaluación.

Para desarrollar el sistema de puntuación fue necesario asignar criterios a cada indicador, de tal manera que se evalúa cada uno y se le asigna un peso relativo al total (100%) de su respectiva dimensión de sostenibilidad. Para determinar el peso relativo de cada indicador se investigó el sistema de pesos que utilizan las metodologías citadas anteriormente.

- LEED utiliza pesos obtenidos de las herramientas BEES, como se muestra en el Anexo F
- El SBTool asigna los pesos según una serie de criterios, como se muestra en el Anexo H

Tomando estos pesos como referencia, y utilizando los criterios del SBTool, se procedió a asignar los pesos respectivos a cada indicador. Durante este procedimiento hubo una constante retroalimentación por parte de los compañeros de SPHERA, principalmente por el Ing. Roberto Meza.

Se realiza también el ejercicio de determinar el impacto o el beneficio (el impacto puede ser positivo o negativo) de cada indicador, así como determinar los indicadores que se ven afectados indirectamente. Hay que mantener en mente que la evaluación de materiales de construcción es un procedimiento complejo, ya que existen muchas interdependencias entre indicadores y muchos criterios que tomar en cuenta.

Herramienta digital

Una vez determinados los rubros de construcción para categorizar los materiales, los indicadores y criterios para evaluarlos, así como un sistema de puntuación que resume la evaluación, se procede a realizar una herramienta digital que permita tanto el almacenamiento, el análisis y la interpretación de los datos.

Para lograr esto se utilizó el programa Microsoft Excel. Adicionalmente, se realizó una programación básica utilizando el complemento Visual Basics para Excel.

Validación de la herramienta

Se realizó una validación de la herramienta y de la metodología propuesta evaluando materiales según la información comercial disponible, debido a la dificultad para obtener información acerca de los productos.

Se utilizó información general para cada producto comparado en la validación. Se obtuvo datos de fichas técnicas, bases de datos de herramientas como BEES y del Inventario de Carbón y Energía (ICE), de la Universidad de Bath, se incluye la información obtenida del ICE en el anexo K.

Resultados

Metodología

La metodología propuesta consiste en un cuadro de decisiones. Para seleccionar un material se deben seguir los siguientes pasos:

1. Definir la función que debe cumplir el material
2. Determinar los productos que pueden satisfacer la necesidad así como las alternativas.
3. Evaluar los materiales según los indicadores seleccionados.
4. Comparar los materiales según su evaluación en cada una de las dimensiones de sostenibilidad
5. Verificar cuál material o producto cumple con los intereses definidos por los involucrados en el proyecto.
6. Seleccionar un material y documentar la selección.

A continuación se presenta en la figura 6 un diagrama de flujo en que representa los pasos y las decisiones que hay que tomar para seleccionar un material siguiendo la metodología propuesta.

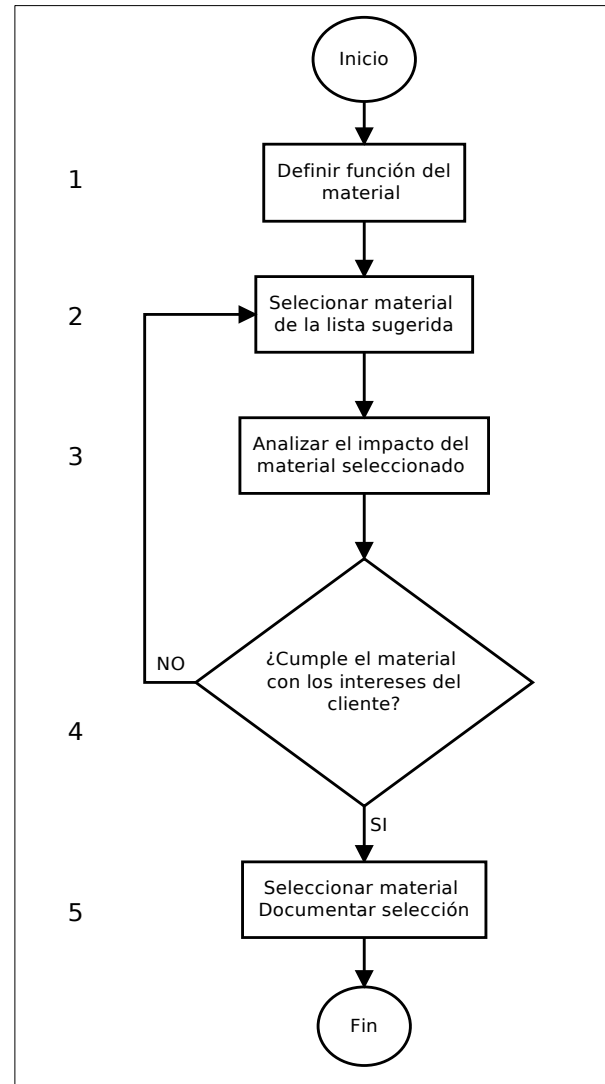


Figura 6. Diagrama de flujo para selección de materiales

Fuente: Elaboración propia

Elaborado en: DÍA, 2013

Rubros de materiales

En el cuadro 5 se presentan los rubros de materiales determinados como de mayor importancia en un proyecto de construcción, con base en los siguientes criterios:

- Porcentaje que representan de la obra, tanto en peso como en costo
- Impacto que tienen en la operación de la edificación

Cuadro 5. Lista de categorías materiales

Código	Descripción	Código	Descripción
3 00 00	Concreto	7 44 00	Paneles de acabado
3 20 00	Concreto reforzado	7 46 00	Siding
3 23 00	Concreto pretensado	8 10 00	Puertas y marcos
3 31 00	Concreto estructural	8 11 00	Puertas y marcos metálicos
3 38 00	Concreto post-tensado	8 14 00	Puertas de madera
3 40 00	Concreto prefabricado	8 15 00	Puertas Plásticas
3 60 00	Fraguas y morteros	8 32 00	Puertas de vidrio corredizas
4 00 00	Mampostería	8 50 00	Ventanería
4 21 00	Mampostería de arcilla	8 51 00	Ventanas de metal
4 22 00	Mampostería de concreto	8 52 00	Ventanas de madera
5 00 00	Metales	8 53 00	Ventanas de plástico
5 12 00	Acero estructural	9 00 00	Acabados
6 00 00	Madera, Plástico y Compuestos	9 20 00	Paneles de yeso y Gypsum
6 11 00	Marcos de madera	9 30 00	Baldosas
6 12 00	Paneles estructurales	9 50 00	Cielos
6 13 00	Madera estructural	9 60 00	Pisos
6 18 00	Madera laminada	9 64 00	Pisos de madera
7 40 00	Paneles de techo y Siding	9 65 00	Pisos resilientes (flexibles)
7 41 00	Paneles de techo	9 66 00	Pisos de terrazo
7 42 00	Paneles de pared	9 90 00	Pinturas y recubrimientos

Fuente: Elaboración propia con base en la nomenclatura MasterFormat 2014

Lista de Indicadores para evaluar materiales

Luego de realizar una investigación bibliográfica extensa sobre los sistemas de evaluación y certificación más reconocidos a nivel mundial, así como comprender los efectos que implica la utilización de productos para la construcción, se creó una lista con indicadores de sostenibilidad para las dimensiones ambiental, técnica y socioeconómica.

Cuadro 6. Lista de indicadores de sostenibilidad según su dimensión
Indicadores ambientales
Contenido reciclado
Energía incorporada
Técnicas de extracción/producción responsables
Certificaciones
Materiales renovables
Reciclable
Innovación
Indicadores técnicos
Propiedades mecánicas
Especificaciones estandarizadas
Funcionalidad
Durabilidad
Calidad
Modulación
Reutilizable
Instalación
Prefabricación

Fuente: Elaboración en conjunto con SPHERA

Cuadro 6. Continuación
Indicadores socioeconómicos
Inversión inicial (costo del producto)
Emanaciones de COVs
Origen de producto
Valor de rescate
Costo de mantenimiento
Costos de instalación
Responsabilidad social

Fuente: Elaboración en conjunto con SPHERA

Criterios y puntuación

A continuación se presentan los resultados obtenidos para los criterios y la puntuación para cada indicador.

Cuadro 7. Sistema de puntuación para la dimensión ambiental				
Código	Indicador	Criterio	Puntuación	Aclaraciones
A1	Contenido reciclado	%		El % de material reciclado se podrá medir en función del peso total del producto o del volumen.
		0%	0	
		0-25%	1	
		25-50%	2	
		50-75%	3	
		75-100%	4	
A2	Energía incorporada	MJ/kg		Se compara con el promedio para productos/materiales similares. Para valores de referencia consultar anexo K 2.
		Alta <80	1	
		Media 21-80	2	
		Baja 11-20	3	
		Muy baja 1-10	4	
A3	Técnicas de extracción y/o producción	Subjetivo		Buenas prácticas durante el proceso de extracción y producción de los materiales. Adquisición de materias primas de proveedores responsables.
		Irresponsables	0	
		Deficientes	1	
		Normal	2	
		Buenas	3	
		Excelente	4	
A4	Certificaciones	Cantidad de certificaciones		Certificaciones emitidas por terceros, pueden ser en cuanto ambiente, calidad, responsabilidad social, normas técnicas. Ej: ISO 9001, ISO 14001, Cradle to Cradle, FCS, Rainforest Alliance, etc.
		0	0	
		1	1	
		2	2	
		3	3	
		> 4	4	
A5	Materiales renovables	%		% de material renovable contenido dentro del producto. Material renovable es el que se renueva naturalmente durante la vida útil del producto. Ej: madera, bambú, materiales de origen vegetal
		0%	0	
		1-25%	1	
		25-50%	2	
		50-75%	3	
		75-100%	4	

Fuente: Elaboración propia con base en los documentos de referencia (Microsoft Excel 2011)

Cuadro 7. Continuación				
A6	Reciclable	0%	0	Capacidad del producto para ser reciclado. Reciclaje se considera como un proceso donde el material no pierde ninguna característica y puede servir el mismo propósito. Infraciclaje se considera cuando el material pierde propiedades y se utiliza para un propósito distinto al anterior
		Infraciclaje 1-50%	1	
		Infraciclaje 51-100%	2	
		Reciclabe 1-50%	3	
		Reciclable 51-100%	4	
A7	Innovación	Subjetivo		Criterio subjetivo, referente a qué tan innovador es un producto, puede ser relativo a materiales, desempeño del producto, tecnología, etc. La innovación debe afectar positivamente algunos de los otros criterios
		Nula	0	
		Poco innovador	1	
		Innovador	2	
		Muy innovador	3	

Fuente: Elaboración propia con base en los documentos de referencia (Microsoft Excel 2011)

Cuadro 8. Sistema de puntuación para la dimensión técnica				
Código	Indicador	Criterio	Puntuación	Aclaraciones
T1	Resistencia/ propiedades mecánicas	Subjetivo		Basado en criterios como resistencia a la compresión, resistencia a la tensión, flexión, módulos de elasticidad, relaciones resistencia/peso.
		Deficientes	1	
		Aceptables	2	
		Buenas	3	
		Excelentes	4	
T2	Especificaciones estandarizadas			Resultados reproducibles, según normas y estándares, Ej: ASTM
		No	1	
		Si	2	
T3	Funcionalidad	Subjetivo		Capacidad de cumplir la función deseada, además de flexibilidad para cumplir con varias funciones
		Baja	1	
		Media	2	
		Alta	3	

Fuente: Elaboración propia con base en los documentos de referencia (Microsoft Excel 2011)

Cuadro 8. Continuación

T4	Durabilidad	Años		Vida útil esperada para el producto, cuanto más extendida mejor, % con relación a la vida útil del proyecto
		0-5	0	
		5-10	1	
		10-20	2	
		20-30	3	
		>30	4	
T5	Calidad	Subjetivo		Basado en experiencias previas con el producto, referencias y certificaciones como ISO 9001
		Deficiente	0	
		Normal	1	
		Buena	2	
		Excelente	3	
T6	Modulación			Capacidad para realizar diseños modulados para reducir el desperdicio durante la construcción y optimizar el proceso constructivo. Ej: sistema de bloques Integra
		Nula	0	
		Poca	1	
		Media	2	
		Alta	3	
T7	Reutilizable	%		Capacidad del producto para ser reutilizado. Infrautilización (IU), material que pierde sus propiedades originales. Reutilización (RU), material que puede ser reutilizado sin perder propiedades originales.
		Nulo	0	
		0-50% IU	1	
		50-100% IU	2	
		0-50% RU	3	
		50-100% RU	4	
T8	Instalación	Método de instalación		Proceso de instalación. Instalación mecánica externa se refiere a elementos complementarios, como tornillos, pernos, prensas, etc. Deben ser removibles. Instalación mecánica incorporada se refiere a sistemas que no requieren de complementos para su instalación. Por ejemplo, sistemas machimbrados.
		Adhesivos	0	
		Combinación	1	
		Mecánica externa	2	
		Mecánica Incorporada	3	

Fuente: Elaboración propia con base en los documentos de referencia (Microsoft Excel 2011)

Cuadro 8. Continuación				
T9	Prefabricación	%		Fabricación en planta o fábrica fuera de sitio.
		0%	0	
		25%	1	
		50%	2	
		75%	3	
		100%	4	

Fuente: Elaboración propia con base en los documentos de referencia (Microsoft Excel 2011)

Cuadro 9. Sistema de puntuación para la dimensión socioeconómica				
Código	Indicador	Criterio	Puntuación	Aclaraciones
SE1	Inversión inicial	Subjetivo		Costo de inversión inicial por la adquisición del producto. Se puede comparar al valor promedio de mercado para materiales similares.
		Muy alta	0	
		Alta	1	
		Normal	2	
		Baja	3	
SE2	Emanaciones de COVs	Contenido total de COV (g/l)		COVs son compuestos orgánicos volátiles. Son químicos que se liberan durante el curado de algunos productos como adhesivos, pinturas y plásticos. Valores determinados con base en LEED, anexo J.
		> 300	0	
		200-300	1	
		100-200	2	
		50-100	3	
		0-50	4	
SE3	Origen del producto	Origen		100% local significa que todos los procesos para obtener el producto terminado, incluyendo la obtención de materias primas, se realiza en el país. Manufactura local significa que se importa la materia prima pero el resto de procesos de fabricación se realizan en el país. Ensamblaje local se refiere a que se importan los componentes y se procede a ensamblar el producto en territorio nacional sin mayores procesos industriales.
		100% Importado	0	
		Ensamblaje local	1	
		Manufactura local	2	
		100% Local	4	

Fuente: Elaboración propia con base en los documentos de referencia (Microsoft Excel 2011)

Cuadro 9. Continuación				
SE4	Valor de rescate	%		Valor de rescate comparado con el costo de inversión inicial del producto.
		0%	0	
		25%	1	
		50%	2	
		75%	3	
		100%	4	
SE5	Costo de mantenimiento	Subjetivo		Criterio subjetivo, con base en la frecuencia, tipo de mantenimiento y costo asociado al mantenimiento durante el ciclo de vida del producto.
		Alto	0	
		Medio	1	
		Bajo	2	
		Muy bajo	3	
		Nulo	4	
SE6	Costo de instalación	Subjetivo		Referente al costo de mano de obra de instalación, se requiere de maquinaria y personal especializado, si es complicado o sencillo, si toma poco o mucho tiempo, estos son los factores a tomar en consideración.
		Alto	0	
		Medio	1	
		Bajo	2	
		Muy bajo	3	
SE7	Responsabilidad Social	Subjetivo		El fabricante cuenta con programas de responsabilidad social, buenas prácticas y políticas laborales o cualquier programa beneficioso para sus empleados y la comunidad.
		Nula	0	
		Poca	1	
		Normal	2	
		Mucha	3	

Fuente: Elaboración propia con base en los documentos de referencia (Microsoft Excel 2011)

Sistema de puntuación y pesos

El sistema de puntuación funciona de la siguiente manera. Cada indicador cuenta con sus criterios. Se podrían interpretar como criterios de cumplimiento. Se asigna una cantidad de puntos a cada indicador. Normalmente de 0 a 4, aunque en casos selectos hay de 1 a 2 ó del 1 al 3, sin embargo, se mantienen todos entre el rango de 0 a 4. Entre más alto el puntaje mejor es el desempeño.

Se calcula el porcentaje de cumplimiento para cada indicador. A su vez, cada indicador cuenta con un peso relativo para cada dimensión. Para simplificar los resultados de las evaluaciones, se determina que el puntaje alcanza un máximo de 10 para cada dimensión.

Indicador	Peso relativo
A1	2.00
A2	2.20
A3	1.30
A4	1.40
A5	1.30
A6	1.00
A7	0.80
Total	10.00

Fuente: Elaboración propia con base en referencias y criterio de expertos (Microsoft Excel 2011)

Indicador	Peso relativo
T1	1.80
T2	0.50
T3	0.80
T4	1.50
T5	1.00
T6	1.20
T7	1.30
T8	0.70
T9	1.20
Total	10.00

Fuente: Elaboración propia con base en referencias y criterio de expertos (Microsoft Excel 2011)

Indicador	Peso relativo
SE1	1.00
SE2	1.80
SE3	2.40
SE4	1.00
SE5	0.80
SE6	0.80
SE7	2.20
Total	10.00

Fuente: Elaboración propia con base en referencias y criterio de expertos (Microsoft Excel 2011)

Utilizando los pesos presentados en los cuadros anteriores, se obtiene un valor de 0 a 10 para cada material en cada dimensión, lo cual permite realizar una comparación basada en el puntaje obtenido.

Herramienta digital

La herramienta digital consiste en una serie de hojas de Excel programadas. Estas hojas cumplen diferentes funciones. Las principales se presentan a continuación en forma de figuras.

En la figura 7 se muestra una lista de materiales que sirve como punto de partida para seleccionar el material deseado. En caso de no

estar disponible, se puede agregar utilizando el botón de “Agregar Material”.

	A	B	C	D	E
	Lista de materiales y productos de construcción				
	<input type="button" value="Agregar material"/>				
1					
2					
3	Material/Producto	Fabricante	Proveedor	Tipo	Division CSI
4	Losalex 40	Productos de Concreto (PC)	Productos de Concreto (PC)	Concreto	Concreto Prefabricado
5	Bloque estandar	Productos de Concreto (PC)	Productos de Concreto (PC)	Concreto	Mamposteria de Concreto
6	Teknoblock	Productos de Concreto (PC)	Productos de Concreto (PC)	Concreto	Mamposteria de Concreto
7	Bloque Integra	Productos de Concreto (PC)	Productos de Concreto (PC)	Concreto	Mamposteria de Concreto
8	Alfombra Modular 50x50cm Accent Flannel	Interface	Euromobilia S. A.	Piso	Alfombras y tapetes
9	Alfombra Modular 50x50cm Redeliver	Interface	Euromobilia S. A.	Piso	Alfombras y tapetes
10	Aluminio	Extralum	Proyectos AV SRL	Vidrio	Elementos fabricados de metal
11	ANGULAR DE ALUMINIO NATURAL 1/2X3/8X6.30 MTS	ALUVICON S.A.	ALUVICON S.A.	Aluminio	Aluminio estructural
12	ANGULARES 50X50X4MMX6MTS	METALCO S. A.	CONSTRUPLAZA S.A.	Acero	Acero estructural
13	ANGULARES 60X60X6MMX6MTS	METALCO S. A.	CONSTRUPLAZA S.A.	Acero	Acero estructural
14	ANGULARES ALUMINIO NATURAL 2"x2"x3.18MMx6.30	ALUVICON S.A.	ALUVICON S.A.	Aluminio	Aluminio estructural
15	Backing Reciclado para alfombra modular	Interface	Euromobilia S. A.	Alfombras	Alfombras y tapetes
16	Bamboo	Bamboo Tico S.A.		Madera	Madera, Plastico y Compuestos
17	BASE PARA CURVA PA40	Tarkett	ALUMIMUNDO S.A.	Acabados	Acabados
18	Cercas, cerramientos	Producol		Plástico	Paneles de pared
19	Cielo suspendido Gridstone #5044	Gridstone	All Steel Building Materials Int.	Cielos	Cielos
20	Cielo suspendido Gridstone #5045	Gridstone	All Steel Building Materials Int.	Cielos	Cielos

Figura 7. Base de datos de materiales y productos.

Fuente: Elaboración propia (Microsoft Excel 2011)

Evaluación de materiales

Material	VIGA WF 12"X26LB/PIE X12MTS
Código	8
CSI	Acero estructural
Proveedor	ARCELORMITTAL COSTA RICA S.A.
Fabricante	ARCELORMITTAL COSTA RICA S.A.

	Seleccionar una opción ▼	Puntos	Puntuación
	Ambiente		
Según el % de peso (peso de material reciclado/peso del producto terminado)	Contenido reciclado	50-75%	<div style="background-color: #90EE90; width: 40px; height: 80px; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> 4.992 </div>
	Energía incorporada	Alta	
	Técnicas de extracción y producción	Buenas	
	Certificaciones	2	
	Materiales renovables	0	
	Reciclable	Reciclable 50-100%	
	Innovación	Poco innovador	
	Técnico		
	Propiedades mecánicas	Excelentes	<div style="background-color: #ADD8E6; width: 40px; height: 80px; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> 7.992 </div>
	Especificaciones estandarizadas	Si	
	Funcionalidad	Media	
	Durabilidad (años)	20-30	
	Calidad	Buena	
	Modulación	Poca	
	Reutilizable	50-100% RU	
	Instalación	Mecánica externa	
	Prefabricación	100%	
	Socioeconómico		
	Inversión inicial (costo del producto)	Alta	<div style="background-color: #FFDAB9; width: 40px; height: 80px; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> 6.550 </div>
	Emanaciones de COV	0-50	
	Origen de producto	Manufactura local	
	Valor de rescate	75%	
	Costo Mantenimiento	Alto	
	Costos de instalación	Medio	
	Responsabilidad social	Mucha	
	Total		<div style="background-color: #FFFF00; width: 40px; height: 20px; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> 6.511 </div>

Guardar

Borrar

Figura 8. Interfaz para evaluar los materiales.
Fuente: Elaboración propia (Microsoft Excel 2011)

Seleccionar una opción ↓		Puntos	Puntuación
Ambiente			
Contenido reciclado			
Energía incorporada			
Técnicas de extracción y producción			
Certificaciones			
Materiales renovables			
Reciclable			
Innovación			
Técnico			
Propiedades mecánicas			
Especificaciones estandarizadas			
Funcionalidad			
Durabilidad (años)			
Calidad			
Modulación			
Reutilizable			
Instalación			
Prefabricación			
Socioeconómico			
Inversión inicial (costo del producto)			
Emanaciones de COV			
Origen de producto			
Valor de rescate			
Costo Mantenimiento			
Costos de instalación			
Responsabilidad social			
		Total	

Figura 9. Ejemplo de menú desplegable creado para llenar los datos
Fuente: Elaboración propia (Microsoft Excel 2011)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Material	Facbricante	Código	Division CSI	Código CSI	Puntaje ambiental	Puntaje Técnico	Puntaje Socioeconómico	Puntaje total
2	VIGA WF 12"X26LB/PIE X12MTS	ARCELORMITTAL COSTA RICA S.A.	19	Acero estructural	5 12 00	4.992	7.992	6.550	6.511
3	TUBO ESTR 50X150X2.37MMX6MTS	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	10	Acero estructural	5 12 00	3.933	7.375	5.850	5.719
4	TUBO ESTR 100X100X1.80MMX6MTS	METALCO S. A.	8	Acero estructural	5 12 00	4.083	7.708	6.250	6.014
5	VIGAS DE ACERO W 14X30X9MTS	ACEROS CARAZO + REIMERS S.A.	7	Acero estructural	5 12 00	4.492	8.400	5.033	5.975
6	Cielo suspendido Ultima Beveled tegular	Armstrong	5	Cielos	9 50 00	5.142	6.942	4.517	5.533
7	Cielo suspendido Gridstone #5044	Gridstone	4	Cielos	9 50 00	6.108	6.875	7.467	6.817
8	Eco-Floor	Ecomateriales S.A.	12	Pisos	9 60 00	6.658	7.508	7.717	7.294
9	MORTERO BONDEX PLUS XD	INTACO COSTA RICA S.A.	13	Fraguas y morteros	3 60 00	3.733	6.875	7.467	6.025
10	VIGA WF 12"X40LB/PIE X12MTS	ARCELORMITTAL COSTA RICA S.A.	11	Acero estructural	5 12 00	4.167	7.708	5.767	5.881

Figura 10. Base de datos de información resumen de puntuaciones para cada material
Fuente: Elaboración propia (Microsoft Excel 2011)

Material	Facbricante	Codigo	Indicadores ambientales						
			A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
VIGA WF 12"X26LB/PIE X12MTS	ARCELORMITTAL COSTA RICA S.A.	19	50-75%	Alta	Buenas	2	0	Reciclable 50-100%	Poco innovador
TUBO ESTR 50X150X2.37MMX6MTS	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	10	0-25%	Alta	Normal	2	0	Reciclable 50-100%	Innovador
TUBO ESTR 100X100X1.80MMX6MTS	METALCO S. A.	8	25-50%	Alta	Normal	1	0	Reciclable 50-100%	Innovador
VIGAS DE ACERO W 14X30X9MTS	ACEROS CARAZO + REIMERS S.A.	7	25-50%	Alta	Buenas	2	0	Reciclable 50-100%	Poco innovador
Cielo suspendido Ultima Beveled tegular	Armstrong	6	25-50%	Media	Normal	3	0-25%	Reciclabe 0-50%	Poco innovador
Cielo suspendido Gridstone #5044	Gridstone	5	50-75%	Baja	Normal	2	0-25%	Reciclabe 0-50%	Innovador
Eco-Floor	Ecomateriales S.A.	13	75-100%	Media	Buenas	3	0	Reciclable 50-100%	Innovador
MORTERO BONDEX PLUS XD	INTACO COSTA RICA S.A.	14	0-25%	Media	Normal	2	0	Infraciclaje 1-50%	Innovador
VIGA WF 12"X40LB/PIE X12MTS	ARCELORMITTAL COSTA RICA S.A.	12	25-50%	Alta	Normal	2	0	Reciclable 50-100%	Poco innovador

Figura 11. Lista de información completa por indicador para cada material
Fuente: Elaboración propia (Microsoft Excel 2011)

Material	Indicadores técnicos							
	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
VIGA WF 12"X26LB/PIE X12MTS	Si	Media	20-30	Buena	Poca	50-100% RU	Mecánica externa	100%
TUBO ESTR 50X150X2.37MMX6MTS	Si	Alta	10-20	Buena	Alta	0-50% RU	Combinación	75%
TUBO ESTR 100X100X1.80MMX6MTS	Si	Alta	10-20	Excelente	Alta	0-50% RU	Combinación	75%
VIGAS DE ACERO W 14X30X9MTS	Si	Alta	>30	Buena	Poca	50-100% RU	Combinación	100%
Cielo suspendido Ultima Beveled teglar	Si	Media	10-20	Buena	Media	0-50% RU	Mecánica externa	75%
Cielo suspendido Gridstone #5044	Si	Alta	>30	Buena	Poca	0-50% RU	Combinación	75%
Eco-Floor	Si	Alta	>30	Buena	Media	0-50% RU	Mecánica externa	75%
MORTERO BONDEX PLUS XD	Si	Alta	>30	Buena	Poca	0-50% RU	Combinación	75%
VIGA WF 12"X40LB/PIE X12MTS	Si	Alta	>30	Buena	Poca	0-50% RU	Mecánica externa	50%

Figura 11. Continuación

Fuente: Elaboración propia (Microsoft Excel 2011)

Material	Indicadores socioeconómicos						
	SE1	SE2	SE3	SE4	SE5	SE6	SE7
VIGA WF 12"X26LB/PIE X12MTS	Alta	0-50	Manufactura local	75%	Alto	Medio	Mucha
TUBO ESTR 50X150X2.37MMX6MTS	Normal	0-50	Manufactura local	25%	Medio	Medio	Normal
TUBO ESTR 100X100X1.80MMX6MTS	Alta	0-50	Manufactura local	25%	Medio	Medio	Mucha
VIGAS DE ACERO W 14X30X9MTS	Alta	0-50	Manufactura local	50%	Medio	Medio	Poca
Cielo suspendido Ultima Beveled tegar	Alta	0-50	100% Importado	25%	Bajo	Medio	Normal
Cielo suspendido Gridstone #5044	Normal	50-100	Completamente Local	25%	Nulo	Bajo	Normal
Eco-Floor	Normal	0-50	Completamente Local	25%	Muy bajo	Bajo	Normal
MORTERO BONDEX PLUS XD	Normal	50-100	Completamente Local	25%	Nulo	Bajo	Normal
VIGA WF 12"X40LB/PIE X12MTS	Alta	0-50	Manufactura local	50%	Medio	Medio	Normal

Figura 11. Continuación

Fuente: Elaboración propia (Microsoft Excel 2011)

Comparación de materiales

Division CSI Acero estructural

Producto	Puntaje			
	ambiental	Socioeconómico	Técnico	Total
VIGA WF 12"X26LB/PIE X12MTS	4.99	6.55	7.99	6.51
VIGA WF 12"X40LB/PIE X12MTS	4.17	5.77	7.71	5.88
TUBO ESTR 50X150X2.37MMX6MTS	3.93	5.85	7.38	5.72
TUBO ESTR 100X100X1.80MMX6MTS	4.08	6.25	7.71	6.01
VIGAS DE ACERO W 14X30X9MTS	4.49	5.03	8.40	5.98

Actualizar datos

Figura 14. Resumen de materiales según la categoría seleccionada
Fuente: Elaboración propia (Microsoft Excel 2011)

Comparación de materiales

Division CSI Cielos

Producto	Puntaje			
	ambiental	Socioeconómico	Técnico	Total
Cielo suspendido Gridstone #5044	6.11	7.47	6.88	6.82
Cielo suspendido Ultima Beveled tegular	5.14	4.52	6.94	5.53

Actualizar datos

Figura 15. Resumen de materiales según la categoría seleccionada
Fuente: Elaboración propia (Microsoft Excel 2011)

Análisis de resultados

A continuación se presenta la discusión de los resultados presentados en el capítulo anterior. Vale la pena destacar que estos resultados consisten en el producto de un primer acercamiento a un tema que es complejo por su naturaleza de multiplicidad de opciones. Por lo anterior, los resultados obtenidos son perfectibles.

Rubros materiales

El primer paso para seleccionar un producto para la construcción es identificar la función que este debe cumplir. Por lo tanto, como primer paso para seleccionar un material, se creó una lista con categorías de materiales predeterminadas. La lista obtenida es el resultado de un análisis de los presupuestos de materiales utilizados en proyectos donde SPHERA ha tenido participación en el desarrollo del proyecto. Con base en esto y después de realizar una posterior selección mediante el criterio de expertos, como el Ing. Roberto Meza, se definieron las categorías de materiales presentadas en el cuadro 5.

Estas categorías fueron definidas utilizando la nomenclatura del Construction Specification Institute MasterFormat 2014. Se utilizó esta nomenclatura, ya que es una existente y sus divisiones siguen una lógica; además, se consigue el beneficio de utilizarla como es utilizada internacionalmente. Esto simplifica el intercambio de información, ya que todas las partes involucradas en un proyecto pueden utilizar el formato para identificar materiales y procesos.

También estas categorías se utilizan para agrupar materiales, al realizar una comparación de productos que cumplen la misma función. Como se demostró en los resultados, los datos se pueden filtrar por división de categorías Master Format.

Indicadores de sostenibilidad

Para determinar los indicadores para cada una de las dimensiones establecidas: ambiental, técnica y socioeconómica, fue necesario realizar una pesquisa bibliográfica extensa. Se encontró en la literatura que no existe aún un método ni una metodología estándar para evaluar materiales. No hay un consenso entre la comunidad científica de cuáles son los criterios por tomar en consideración. Se encontró que existen algunas herramientas para evaluar materiales, pero estas son escasas y funcionan únicamente para ciertas regiones.

Institutos como el ATHENA utilizan información de análisis de ciclo de vida (ACV) de producto para estimar el impacto ambiental de un proyecto de construcción, sin embargo, tiene sus limitaciones. Existe poca disponibilidad de información de análisis de ciclo de vida para los productos. Esto se debe a varias razones: son estudios complejos que requieren mucho tiempo, ya que consideran el ciclo de vida entero de cada material y son costosos. La Agencia de Protección Ambiental estima que el costo de un ACV puede rondar los \$100,000. Por lo tanto, la información disponible proveniente de ACV es escasa.

Se escogió el método de análisis multicriterio para evaluar los materiales, ya que cada dimensión se ve afectada por una serie de indicadores, algunos más importantes que otros.

Los indicadores seleccionados en conjunto buscan los siguientes objetivos:

- Cerrar el ciclo de los materiales
- Reducir el impacto provocado por la extracción de materias primas
- Utilizar el mínimo necesario y evitar el desperdicio en obra.
- Utilizar materiales de fuentes renovables

- Utilizar materiales que no sean perjudiciales para la salud humana y el ambiente.
- Utilizar materiales de origen local.

A continuación, se discute por qué se escogieron los indicadores presentados en el cuadro 6.

Indicadores ambientales

A 1. Contenido reciclado

Este indicador evalúa la cantidad de material reciclado que contiene un producto. Es importante debido que al utilizar material reciclado como materia prima se obtienen dos resultados principales: primero, se evita que un material cuyo ciclo de vida haya concluido termine en un botadero, al ser reintroducido en el industria como materia prima luego de un proceso de reciclaje. Segundo, se disminuye la demanda y la necesidad de utilizar materias primas vírgenes.

El ejemplo de los metales ilustra muy bien el punto. Algunos metales, como el acero y el aluminio, son infinitamente reciclables. Reciclar estos metales significa un ahorro de hasta 90% de la energía requerida para extraerlos de la corteza terrestre.

A 2. Energía incorporada

A partir de la literatura consultada, la energía incorporada en un material es una constante a ser incluida. Este Indicador es de gran importancia para el ambiente, ya que la mayoría de las fuentes primarias de energía alrededor del mundo todavía consisten en la quema de hidrocarburos, como el carbón o derivados del petróleo. Consecuentemente, hay una relación directa proporcional entre el valor de la energía incorporada y el impacto ambiental que tiene la producción de un determinado producto. Si se conoce la fuente primaria de energía, es posible determinar la cantidad de CO₂ liberado a la atmósfera.

Para efectos de esta herramienta, se considera únicamente la energía incorporada

hasta la salida de la fábrica, lo que se denomina también de la cuna a la puerta. Es posible determinar la energía incorporada de un material durante todo su ciclo de vida; sin embargo, como cada proyecto es diferente y se ubica en un lugar diferente, no se puede incluir dentro de los cálculos. El transporte afecta en gran medida la cantidad de energía incorporada de un material. Vale la pena destacar que esto se debe analizar para cada proyecto, para reducir las emisiones de CO₂ producidas por los medios de transporte, especialmente en nuestro país, en el que todo el traslado se realiza en camiones por carretera. Esto se evalúa indirectamente en el indicador de origen del producto (SE3).

Otro aspecto que vale la pena destacar es que otra manera de medir la energía incorporada es dividiéndola entre los años de servicio del material. Esto considera la energía incorporada a través del tiempo, lo que da un mejor indicador del impacto. El caso del aluminio, por ejemplo, es de los materiales que más energía requiere para su fabricación a partir de bauxita, sin embargo, por sus propiedades, el aluminio tiene una vida útil muy larga. Producto de esto se obtiene un mejor estimado de la energía incorporada a través de todo su ciclo de vida.

Esta información, sin embargo, es poco conocida, además que la única manera de comparar contenidos energéticos de materiales similares es a la salida de la fábrica, ya que de ahí en adelante varía según cada proyecto. Como referencia, en el anexo K se muestran valores para algunos materiales de construcción.

A 3. Técnicas de extracción y producción

Gran parte del impacto ambiental que tiene un material se da en los procesos de extracción de la materia prima y durante su procesamiento para obtener el producto terminado.

La extracción de materias primas causa transformación del terreno existente, destrucción de hábitats, erosión y depleción de recursos, y contaminación. En el caso de productos de madera, es muy importante conocer su procedencia, ya que podría venir de bosques primarios y de tala ilegal.

Los procesos de producción, aparte de involucrar grandes cantidades de energía,

generalmente involucra la liberación de muchos contaminantes a la atmósfera así como a los ríos. Estos contaminantes generalmente son dañinos para la salud humana de poblaciones vecinas así como para el ambiente.

Este indicador favorece a los materiales que son producidos de manera responsable. Las técnicas para lograr una producción más responsable son muchas, por ejemplo, contar con programas de reforestación, reutilizar agua residual para procesos, utilizar energía de fuentes renovables, como la solar. Hay empresas que también cuentan con una política de selección de proveedores.

Este indicador se evalúa subjetivamente dependiendo de si la empresa fabricante cuenta con políticas que ayudan a reducir su impacto. Esto se podría considerar como una debilidad, sin embargo, es muy complejo de cuantificar un indicador como este, por lo que se debe realizar subjetivamente según el criterio del evaluador.

A 4. Certificaciones

Este indicador busca recompensar a los productos que cuentan con certificaciones ambientales emitidas por terceros. Al realizar el análisis de los indicadores que se iban a incluir, se determinó que no se puede evaluar un material sin evaluar indirectamente o directamente la empresa que los fabrica. Por lo tanto, las certificaciones emitidas por terceros, tanto para el producto así como para la empresa, son determinantes.

Primero, se recompensa si el producto específico cuenta con certificaciones ambientales, luego se toman en cuenta las certificaciones de la empresa. Para producto existen varias certificaciones, algunos ejemplos son:

- Sello FSC
- Green Seal
- Cradle to Cradle
- RoHS

Algunos ejemplos de certificaciones para la empresa son:

- ISO 14001
- Bandera Azul Ecológica
- LEED
- C-Neutral

A 5. Materiales renovables

Se incluye la utilización de materiales y productos que provienen de fuentes renovables, para tratar de reducir el uso de materiales que provienen de fuentes no renovables a corto plazo. Se determina que un material es renovable a corto plazo si se renueva en el tiempo del ciclo de vida del producto en operación. Algunos ejemplos de materiales renovables son la madera y productos de origen vegetal. Además de provenir de fuentes renovables, debido a que estos materiales generalmente son de origen vegetal, son biodegradables al final de su vida útil.

Este indicador se evalúa según el porcentaje de materiales provenientes de fuentes renovables contenidos en el producto terminado. Se determina un porcentaje con base en el peso.

A 6. Reciclable

La capacidad de un material de ser reciclado es muy importante para su disposición al final de su vida útil. Se incluye este indicador para favorecer los materiales que pueden ser reciclados. De esta manera se cierra el ciclo del material y el producto o material se convierte nuevamente en una materia prima.

Existen dos tipos de ciclos de reciclaje que hay que tomar en cuenta, el ciclo técnico y el ciclo biológico. El ciclo técnico consiste en someter los materiales a procesos para convertirlos nuevamente en materia prima. El ciclo biológico es el proceso de degradación natural de materiales biodegradables. El compostaje se considera como reciclaje por el ciclo biológico, ya que la energía y los minerales contenidos en el material se reintegran al sistema ecológico y eventualmente llegarán a ser reutilizados por la misma naturaleza. En la naturaleza no existe el concepto de basura o desperdicio, ya que todo se reutiliza.

Se pretende que al fomentar el uso de materiales reciclables, al final de su vida útil estos no se consideren desechos o basura, sino que se consideren recursos.

Reciclar materiales elimina la cantidad de residuos que llegan a los botaderos, también

disminuye la necesidad de extraer materias primas vírgenes.

A 7. Innovación

Se incluye este rubro para favorecer aquellos productos que, por sus materiales componentes y manera de disposición, no son amigables con el ambiente, por así decirlo, pero que tienen beneficios en la operación o de alguna otra manera.

Un ejemplo son los vidrios de alto desempeño. Estos vidrios se realizan con capas de vidrio y materiales sintéticos para filtrar rayos UV, así como infrarrojos (calor), permitiendo al espectro visible atravesarlos. Estos vidrios no se pueden reciclar y contienen materiales derivados del petróleo; sin embargo, brindan una gran ventaja en eficiencia energética del proyecto, así como protegen a los ocupantes de la radiación dañina de la luz solar.

De nuevo, esta es una característica subjetiva de un material, por lo que se requiere buen juicio a la hora de asignar los puntos en este indicador.

Indicadores técnicos

Según las definiciones clásicas de sostenibilidad, se debe tomar la triple línea base que incluye las dimensiones ambiental, social y económica. Al tratarse de proyectos de construcción, no se puede dejar de lado la dimensión técnica; por lo tanto, se combinan las dimensiones social y económica en una y se incluye la dimensión técnica.

Es muy importante tener en cuenta que muchos, sino es que todos estos indicadores, incluyendo todas las dimensiones, se relacionan y son interdependientes entre sí. La variación de parámetros técnicos afecta a las otras dimensiones mutuamente.

T 1. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas son fundamentales para la selección de un material. Según el paradigma tradicional de la construcción, se

busca la intersección entre las mejores propiedades mecánicas con el menor costo posible. Muchos procesos de selección de materiales actualmente aún buscan conseguir la mejor relación entre estos dos parámetros.

Debido a que la metodología está propuesta para ser utilizada para cualquier material, no se puede asignar criterios numéricos para determinar el rendimiento de este indicador. Por lo tanto, lo que se hizo fue utilizar una valoración subjetiva que se divide en deficientes, aceptables, buenas y excelentes. Por supuesto, para poder asignar estas calificaciones a un producto hay que tener conocimiento sobre la función que va a desempeñar el material y los estándares que debe cumplir.

Por ejemplo, para el concreto se utiliza la resistencia a la compresión como mayor indicador de las propiedades mecánicas, ya que el concreto estructural funciona resistiendo cargas a compresión. Se puede considerar que una resistencia de 210kg/cm² es estándar. Por lo tanto, para poner un ejemplo, un concreto de alta resistencia, de >700 kg/cm², se considera de excelente propiedades mecánicas.

Sin embargo, para un material que se va a utilizar como división liviana y no lleva cargas de compresión, la resistencia a la compresión no es un factor determinante, como si lo son propiedades acústicas, resistencia al impacto y a la humedad.

Se escoge un sistema cualitativo para evaluar las propiedades mecánicas ya que, dependiendo de la función, se requieren propiedades diferentes, que no son directamente comparables entre sí.

T 2. Especificaciones estandarizadas

Los materiales o productos que cuentan y cumplen con especificaciones estandarizadas son preferibles a aquellos que no lo hacen. Esto se debe al hecho de que al contar con especificaciones estandarizadas se pueden reproducir de igual manera. Por lo tanto, se puede esperar resultados similares para cada unidad que se produzca siguiendo las especificaciones determinadas, lo que se denomina trazabilidad.

Las especificaciones estandarizadas también aseguran la reproducibilidad de los procesos que se llevan a cabo para producir un material. Esto se traduce a que se puede esperar resultados similares para un producto que cuenta con las mismas especificaciones aún si es producido por empresas distintas.

T 3. Funcionalidad

Se incluye funcionalidad como un indicador, ya que un material que pueda cumplir múltiples funciones es preferible a uno que solo es capaz de cumplir con una sola. De esta manera, si se utilizan materiales que son flexibles en cuanto a su funcionalidad, en caso de haber un cambio en el uso de la edificación, se puede seguir utilizando y se reduce la demanda de nuevos materiales.

También es importante destacar que en caso de haber excedente de material en sitio, se podría utilizar para otra función y se evita el desperdicio de material: una mala práctica muy común en las construcciones.

T 4. Durabilidad

La durabilidad es un factor que se determinó como de importancia muy relevante. La durabilidad de un producto afecta directamente la frecuencia de reemplazo, y hasta la vida útil de la edificación, especialmente en el caso de los materiales estructurales.

Este indicador busca favorecer a los productos y materiales que tienen una vida útil prolongada, reduciendo así la demanda de nuevos materiales para su reemplazo y brinda mayor vida útil al proyecto.

Este criterio se puede evaluar cuantitativamente utilizando como vida útil mínima de un material los años de garantía que provee el fabricante y estimarla en función del diseño del proyecto.

T 5. Calidad

La calidad es una cualidad de los materiales que siempre se debe tomar en cuenta.

Este indicador también se evalúa según criterios subjetivos, sin embargo certificaciones como ISO 9001 aseguran la calidad de los procesos de fabricación y por consiguiente la calidad del producto. También es importante la experiencia para evaluar la calidad de un material. Se puede tomar como referencia el desempeño de materiales instalados en proyectos existentes.

T 6. Modulación

La modulación permite reducir los desperdicios, ya que los materiales están dimensionados para encajar. Para poder utilizar productos modulares, se debe considerar desde la etapa de diseño, ya que el diseño se debe dimensionar a los módulos.

T 7. Reutilizable

Hay materiales que se pueden reutilizar sin la necesidad de pasar nuevamente por un proceso industrial como lo es el reciclaje. Según se definió anteriormente, existen dos maneras de reutilizar materiales. Se pueden utilizar para cumplir la misma función si estos conservan sus propiedades mecánicas y físicas, así como su integridad al momento de ser reutilizados. Por ejemplo, se pueden reutilizar las láminas de cielo que son simplemente apoyadas sobre una estructura de soporte. También es posible reutilizar vigas y columnas de acero que no hayan sido deformadas durante su vida de servicio. La segunda manera de reutilizar materiales es para una función distinta de la que se utilizó originalmente, debido a que el material pierde sus propiedades mecánicas originales. Por ejemplo, el concreto se puede reutilizar como relleno o agregado, debido a que al ser triturado en la demolición no se puede utilizar el elemento para su función original.

Este indicador favorece a los materiales que tienen gran potencial para ser reutilizados una vez cumplan su vida útil, o una vez que la edificación en la que estos se encuentran cumpla con su vida útil y sea deconstruida.

El potencial para la reutilización de un elemento depende también y en gran medida de

cómo está instalado, por lo que se incluye también ese criterio.

T 8. Instalación

La instalación de un material determina qué tan fácil es su desinstalación posteriormente. Se considera este criterio para favorecer a los materiales y productos que tienen sistemas de instalación mecánicos, para que sean fáciles de desinstalar. Esto permite que los materiales puedan ser desinstalados sin ser dañados, con el fin de ser reutilizados al final de la vida útil del proyecto.

Además, utilizar elementos mecánicos como tornillos y pernos es preferible a utilizar adhesivos y pegamentos, por razones de salud de los instaladores que se exponen a grandes cantidades de químicos al aplicar productos de este tipo. Por lo tanto, este indicador toma en cuenta la deconstrucción de la edificación al final de su vida útil y considera desde la etapa de selección de materiales, el fin del ciclo de vida del proyecto.

Por supuesto que este indicador cuenta con sus limitaciones, ya que las estructuras deben contar con capacidad para transmitir fuerzas, especialmente en un país tan sísmico como Costa Rica. Sin embargo, en marcos de madera así como de acero se pueden usar conexiones mecánicas.

T 9. Prefabricación

La prefabricación de elementos en planta presenta muchas ventajas sobre la elaboración de elementos en sitio. En la fábrica existe un ambiente controlado respecto del uso de recursos y de la reducción del desperdicio. Además, se puede esperar una mayor calidad debido al mayor control de procesos.

Otro beneficio de utilizar elementos prefabricados es la posibilidad de trabajar en varias actividades en paralelo, lo que reduce el plazo de ejecución de la obra y, en general, al reducir el plazo de la obra, se reducen los costos asociados a mano de obra y alquiler de equipos.

Por estas razones se considera como un indicador importante por considerar,

especialmente para elementos estructurales; por estas razones se incluye este indicador.

Indicadores socioeconómicos

SE 1. Inversión inicial

El costo del material es un factor muy importante, ya que todos los materiales en conjunto pueden representar hasta un 50% de los costos totales de un proyecto de construcción. Es un factor que no puede faltar a la hora de comparar y seleccionar materiales.

Para asignar la puntuación se debe comparar el costo actual del material con el valor promedio de los materiales, para así determinar si la inversión inicial es superior o inferior al promedio.

SE 2. Emanaciones de COVs

Todos los materiales emanan químicos o sustancias durante su vida útil. Sin embargo, hay algunos que liberan gran cantidad de sustancias nocivas para la salud humana. Esto se suma a que en un espacio interno, completamente rodeado de materiales, las concentraciones de estos químicos pueden alcanzar niveles peligrosos para la salud. Por lo tanto, resulta fundamental tomar en cuenta qué impacto puede tener un material en la calidad interna del aire dentro de un espacio confinado. Los productos como pinturas, adhesivos, selladores y plásticos tienen una alta capacidad de emisión durante su curado y posteriormente, siguen emanando compuestos orgánicos volátiles.

Se incluye este rubro con el propósito de evitar el uso de productos que puedan ser nocivos tanto para quienes lo aplican durante el proceso constructivo, así como para los ocupantes del espacio interno posteriormente. Así pues, se favorece a los materiales que tienen cero contenido de COVs.

SE 3. Origen del producto

Se incluye este indicador dado que el origen de un producto afecta varios factores. Principalmente se coloca dentro de la dimensión socioeconómica para fomentar el uso de productos y materiales de origen local. LEED define esto como que el producto sea extraído y fabricado dentro de un radio de 500 millas, sin embargo, se adapta en esta metodología para que local se considere como extraído y fabricado en el país. Los productos nacionales presentan los siguientes beneficios: estimular el desarrollo económico del país y junto a esto generar oportunidades de empleo y mayores oportunidades de trabajo para los habitantes.

Indirectamente, se obtienen los siguientes beneficios:

- Se reduce el costo por transporte
- Se reduce la contaminación producto del transporte a largas distancias

Por las razones descritas, se considera el origen de un producto como un indicador relevante en la dimensión socioeconómica.

SE 4. Valor de rescate

El valor de rescate de un producto evalúa si un material o producto tiene algún valor monetario al cumplir con su vida útil.

A través de la investigación se determina que el rescate de residuos por ejemplo, no es práctica común, ya que no se ve ningún valor en estos. Materiales metálicos como el acero y el aluminio mantienen su valor, por lo que los mismos peones se toman el tiempo para recolectarlos en la obra y luego venderlos en una chatarrera, lo hacen debido a que ellos reciben una ganancia.

Debido a esto, se debe tomar en consideración el valor de rescate de los productos y materiales, ya que si utilizan productos valorizables al final de su vida útil, a la hora de dismantelar una construcción o de manejar los residuos del proceso constructivo, es más sencillo lograr un adecuado manejo de residuos.

SE 5. Costo de mantenimiento

El mantenimiento de un producto es algo que usualmente no se considera en el momento de

seleccionar materiales. Sin embargo, el mantenimiento de un material puede tener un gran costo durante la operación de un proyecto.

Reiterando que la selección de materiales debe ser un proceso que considere todo su ciclo de vida, se debe considerar como primordial su mantenimiento durante la operación. El mantenimiento tiene tanto un costo monetario como ambiental. Es usual que los productos de limpieza o protección contengan químicos nocivos.

SE 6. Costo de instalación

Un costo relacionado con cada producto es el de su respectiva instalación. Este criterio se selecciona debido a que es una necesidad evaluar el costo que representa la colocación de un material en la obra. Para determinar el costo de instalación se evalúan factores como si se debe utilizar maquinaria o mano de obra especializada. Ambos factores tienen costos asociados que deben considerarse desde la selección de los materiales, ya que sumados pueden tener un gran impacto en el presupuesto del proyecto. En el anexo I se presenta una lista de los precios promedio de mercado para algunos materiales de construcción.

SE 7. Responsabilidad social

Como se mencionó anteriormente y producto de la investigación realizada, se determinó que para obtener una evaluación holística de un producto de construcción, hay evaluar tanto el producto como la empresa fabricante, con el fin de conocer verdaderamente el origen del producto.

Se incluye un indicador de responsabilidad social para recompensar a las empresas que tienen programas de responsabilidad social. De esta manera, se beneficia a las empresas que tienen un impacto positivo en la comunidad y en sus empleados.

Conjunto de criterios

Debido a la falta de información cuantitativa acerca de los indicadores, el conjunto de indicadores contiene tanto criterios cuantitativos, así como subjetivos. Se deben incluir criterios subjetivos debido a que muchas propiedades de

los materiales son cualitativas. Por lo tanto, es necesario utilizar criterios subjetivos para determinar el valor numérico del indicador. Es muy importante que la persona que aplique la herramienta tenga conocimiento y experiencia en el tema de los materiales, para asignar la puntuación con base en su conocimiento, aún cuando los criterios sean subjetivos.

Esto se puede ver como una debilidad en la confiabilidad de la herramienta, sin embargo, permite que la metodología sea aplicada a cualquier material, incluso cuando no se conozcan datos cuantitativos para todos los indicadores.

Se espera que en un futuro cercano la información se comience a generar y publicar. Actualmente hay una tendencia creciente hacia la divulgación de información referente a los impactos ambientales de los productos. En otros países ya es obligatorio el uso de etiquetas con declaraciones ambientales del producto, conocidas como DAP.

Como meta adicional por evaluar, esta metodología pretende brindar conocimientos sobre cuáles son los indicadores y los criterios que se deben considerar en la selección de materiales. El Dr Arq. Joan Lluís Zamora (2013) indica que se deben seleccionar los materiales que sean:

- Lo más durables posibles
- Lo más acreditados posibles
- Lo más bajos en valor de impacto ambiental cuantificado
- Lo más reciclados posible
- Lo más ahorradores en consumo energético asociado
- Lo más reutilizables y/o reciclables cuando acaben su vida útil
- Lo más fácilmente desmontables
- Lo más estandarizados posible
- Lo más próximos posible al proyecto

(Zamora, 2013)

Al comparar la lista de indicadores obtenida de la investigación bibliográfica realizada, se puede ver que se cumple con todos los criterios que propone Zamora (2013), además se agregan indicadores que contemplan la parte técnica así como social.

Sistema de puntuación

El objetivo del desarrollo de la metodología es determinar el desempeño de los materiales en términos de sostenibilidad. Para ello, se desarrolló un sistema de puntuación que califica el desempeño de los materiales en cada una de las dimensiones propuestas. La puntuación definió cómo se muestra en los resultados con el fin de obtener el desempeño de cada material en cada indicador. Cada indicador cuenta con su peso relativo al puntaje total de cada dimensión. De esta manera, se obtiene un sistema de calificación que es básicamente un promedio ponderado. Esto permite que se puedan modificar los criterios para cada indicador y realizar cuantas divisiones sean necesarias.

Los resultados numéricos de la evaluación se presentan para cada una de las dimensiones de sostenibilidad. Esto debido a que cada proyecto y cada cliente tienen requisitos distintos. A nivel de referencia, se combinan los resultados de las dimensiones para obtener un solo número. Este total es un promedio de los resultados para cada dimensión, por lo tanto, se programó para que cada dimensión tenga el mismo peso. Se podría variar el peso según las necesidades del cliente. Una vez presentada la información, como se muestra en los resultados, corresponde al cliente, junto con el equipo de diseño, tomar la decisión con base en la información presentada. Lo ideal es que se busque un balance entre las tres dimensiones, sin embargo, puede haber un proyecto que por sus necesidades requiera un buen desempeño en la parte técnica, mientras otro en la parte ambiental.

Peso de indicadores

Debido a que no todos los indicadores tienen el mismo impacto, se determinó un peso para cada uno. Como base para determinar la importancia de cada uno de los indicadores, fue necesario comprender las implicaciones de cada uno de ellos. Luego, utilizando los factores que toma en consideración el SBTool, los cuales se muestran en el anexo H, y con base en los pesos que utilizan herramientas como BEES y normas como LEED, se asignaron los pesos a cada indicador. En el anexo B se muestran los pesos

correspondientes a LEED v2009, y en el anexo F los correspondientes a BEES.

Herramienta digital

La herramienta elaborada en Excel permite ejecutar los pasos para realizar la selección de materiales. La herramienta consiste en una aplicación de Excel, programada utilizando macros que se ejecutan con botones, así como una programación básica utilizando la aplicación Visual Basics para Excel. Debido a que la programación es básica, la herramienta tiene algunas limitaciones en cuanto a la operación.

Dejando de lado los alcances de la programación, la herramienta está diseñada para que se puedan modificar tanto los criterios para cada indicador como los pesos de estos. Esto permite realizar cambios en un futuro. Esta función es necesaria debido a que este tema avanza rápidamente y es por lo tanto, muy dinámico.

Cada material que se introduce debe ser evaluado, al final de la evaluación se almacena la información en dos cuadros que funcionan luego como bases de datos. Como se mostró en los resultados, uno despliega la información resumida al mostrar la calificación obtenida en cada dimensión; el segundo cuadro almacena el criterio seleccionado para cada indicador. Este segundo cuadro es importante ya que si se desea saber por qué de la calificación de algún producto, se puede buscar en ese cuadro, dónde está contenida la información para cada indicador.

Por último, fue necesario crear un cuadro dinámico que permitiera filtrar productos de acuerdo con su función. Este cuadro dinámico es esencial, ya que es la base para realizar la comparación entre las alternativas disponibles para satisfacer la función deseada.

Esta herramienta fue entregada a la empresa SPHERA para su utilización. Los indicadores propuestos en conjunto con esta herramienta representan las bases para construir una base de datos que contenga información valiosa sobre el impacto de los materiales y consideran todas las dimensiones durante todo su ciclo de vida. Se contempla que la información referente a los materiales se vuelva más accesible en el futuro cercano.

Con tal de realizar una validación de la metodología y de la herramienta, se solicitó información a varias empresas fabricantes sobre sus productos. En el apéndice A se muestra el formulario de solicitud de información enviado a las empresas. Sin embargo, al término de este proyecto, no se obtuvo información de utilidad por parte de ninguna empresa. Esto se puede deber a que las empresas no conocen la información o no están dispuestos a brindarla. En ambos casos, se consideró al inicio del proyecto que la adquisición de información sobre materiales sería una limitante, sin embargo, la situación es peor de lo que se pensó inicialmente. Producto de la falta de información, no se pudo realizar la validación de la herramienta con información verídica. Se comprobó el funcionamiento de esta utilizando información hipotética y en algunos casos, información comercialmente disponible. Esos son los datos que se muestran en la figura 11 del capítulo de resultados.

Conclusiones

- Con el fin de evaluar todos los aspectos de un material, se determinó que es necesario incluir criterios subjetivos que, a través de un sistema de puntuación, se pueden representar de manera numérica para permitir una comparación.
- Se evidenció que la selección de materiales es un procedimiento muy complejo que depende de muchos criterios, por lo que se seleccionó el método de análisis multicriterio como base para la evaluación.
- Se determinó que hay poca información útil disponible actualmente acerca de los impactos y otras cualidades de los materiales, necesaria para la correcta evaluación de los materiales.
- A la conclusión del trabajo no se recibió respuesta por parte de las empresas consultadas, esto se puede deber tanto a que no conocen la información que se solicitó, así como que no están dispuestas a divulgar la información solicitada.
- Se concluye que es importante para el país que haya transparencia sobre el impacto de cada producto así como sobre su proceso de fabricación, considerando que esto será una necesidad para cumplir con el plan de llegar a la carbono neutralidad para el año 2021.
- La herramienta se programó de manera que se pueden modificar los indicadores, así como el sistema de puntuación, con la intención de seguir mejorándola y permitir adaptaciones en un tema tan dinámico.
- Se requiere de conocimiento y experiencia en el tema de materiales de construcción para poder realizar la evaluación de materiales utilizando la herramienta propuesta, debido a que es necesario utilizar criterio subjetivo para evaluar algunos indicadores.
- No fue posible realizar una validación utilizando datos reales, por lo que se debió utilizar datos hipotéticos así como información comercialmente disponible para ilustrar el funcionamiento de la herramienta.
- Se determinó que mucha de la información disponible acerca de los materiales es de poca utilidad ya que no está validada por una empresa tercera para darle validez.
- Debido a la complejidad y amplitud del tema existe mucho espacio para el mejoramiento de la metodología, sin embargo, la herramienta desarrollada es un primer acercamiento al tema y que sirve como cimentación para seguir mejorando el proceso de selección y evaluación de materiales.

Recomendaciones

Al ser este trabajo un primer acercamiento a un tema novedoso, en el cual aún existe mucha incertidumbre, hay una serie de recomendaciones importantes por realizar para seguir mejorando los procesos de selección de materiales que se emplean tradicionalmente con base en criterios de sostenibilidad.

- Idear una estrategia para fomentar la investigación por parte de las empresas acerca de sus productos, para acelerar el proceso de disponibilidad de información.
- La herramienta digital consta de una programación básica, lo cual limita su funcionalidad. Se recomienda realizar una programación adecuada de esta, a cargo de un profesional en el área, con el fin de agregar su versatilidad.
- Se recomienda incluir una opción en la herramienta que permita personalizar los pesos para cada dimensión para así ajustarse mejor a cada proyecto.
- Se recomienda involucrar al cliente en el proceso de evaluación y selección de materiales para así concientizar al cliente como resultado secundario.
- Crear una estrategia en conjunto con SPHERA para obtener mayor colaboración por parte de las empresas fabricantes y productores de la industria de la construcción.
- Se recomienda que normativas como INTE/ISO 14020 se vuelvan obligatorias para acelerar el uso de eco-etiquetas y declaraciones ambientales de producto.
- Se sugiere como una estrategia para tener mayor colaboración de las empresas, capacitación en el tema, mediante instituciones como el Tecnológico de Costa Rica.
- Brindar a las empresas conocimiento sobre las estrategias que se pueden seguir para obtener mayor información sobre el impacto de los productos que producen.
- Se recomienda crear un manual de uso de la herramienta así como de la aplicación de la metodología para que la herramienta sea accesible por otras personas.
- Se recomienda realizar una mejor validación más extensa de la herramienta mediante el criterio de expertos en el tema, también mediante su uso utilizando información suministrada por empresas.

Referencias

1. Akadiri, P. O., Olomolaiye, P. O., & Chinyio, E. A. (2013). Multi-criteria evaluation model for the selection of sustainable materials for building projects. *Automation in Construction* , 30, 113-125.
2. Athena Institute . (2016). *Life Cycle Assesment Software*. Retrieved 07 de Marzo de 2016 from Athena Sustainable Materials Institute : www.calculatelca.com
3. Baharetha, S., Al-Hammad, A. A., & Alshuwaikhat, H. M. (2013). Towards a Unified Set of Sustainable Building Materials Criteria. *ICSDEC 2012: Developing the Frontier of Sustainable Design, Engineering, and Construction* . ASCE.
4. Bakhoun, E. S., & Brown, D. C. (2012). Developed Sustainable Scoring System for Structural Materials Evaluation . *JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT* .
5. Braungart, M., & William, M. (2006). Cradle to Cradle design: creating healthy emissions - a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of Cleaner Production* .
6. Camacho, J. (2014). *Párametros de sostenibilidad en tipologías de vivienda de interes social tramitadas en el periodo de abril a agosto del año 2014 en el Cantón Central de Cartago* . Tesis de Maestría, Tecnológico de Costa Rica , Area Académica Agroforestal , Cartago .
7. Casañas, V. (2011). *La energia como indicador de impacto ambiental en los sistemas constructivos conformados a partir de materiales de producción nacional*. Udelar, Montevideo.
8. Castro-Lacouture, D., Sefair, J. A., Florez, L., & Medaglia, A. L. (2009). Optimization model for the selection of materials using a LEED-based green building rating system in Colombia. *Building and Environment* , 44 (6), 1162-1170.
9. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos . (2015). *Indicadores CFIA de la construccion en Costa Rica* .
10. Florez, L., & Castro-Lacouture, D. (2013). Optimización model for sustainable materials selection using objective and subjective factos. *Materials and Design* (46), 310-321.
11. Fournier Zepeda, R. (2008). Construcción sostenible y madera: realidades, mitos y oportunidades . *Tecnología en Marcha* , 21 (4), 92-101.
12. GEGESTI. (Mayo de 2008). Manual para la implemantación de Compras Verdes en el sector público de Costa Rica. San José, Costa Rica.
13. INTECO. (2014). RESET. Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico. *INTE 06-12-01:2014* , 2. INTECO.
14. International WELL Building Institute PBC. (2015). *WELL Building Standard®*. Retrieved 04 de Abril de 2016 from International WELL Building Institute: <https://www.wellcertified.com/well>
15. ISO. (2016). *ISO 14021:2016(en) Environmental labels and declarations — Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling)*. Retrieved 15 de Marzo de 2016 from Plataforma de navegación en línea (OBP):

<https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:14021:ed-2:v1:en>

16. Kibert, C. J. (2008). *Sustainable Construction* (2nd Edition ed.). Hoboken, New Jersey, United States : John Wiley and Sons, Inc. .
17. Larsson, N. (2015). *SBTool 2015 - overview*. International Initiative for a Sustainable Built Environment .
18. Murillo, G. (2015). *Estrategias para certificar la operación y mantenimiento del edificio administrativo de la Municipalidad de Heredia mediante el sistema de evaluación LEED O+M: EB versión 4*. Tesis de Licenciatura, Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Química, Cartago.
19. National Institute of Standards and Technology. (2014). *Software: BEES*. Retrieved Marzo de 2016 from NIST: <http://www.nist.gov/el/economics/BEESSoftware.cfm>
20. Ries, R., Bilec, M. M., & nuri Mehmet Gokhan, K. L. (2006). The Economic Benefits of Green Buildings: A Comprehensive Case Study . *The Engineering Economist* , 51 (03), 259-295.
21. Speigel, R., & Meadows, D. (2012). *Green Building Material: A Guide to Product Selection and Specifications* (3rd Edition ed.). Hoboken, New Jersey, Unites States: John Wiley and Sons, Inc.
22. Suzer, O. (2015). A comparative review of environmental concer prioritization: LEED vs other major certification systems . *Journal of Enviranmental Management* , 154, 266-283.
23. U.S. Green Building Council, Inc. . (2013). *Reference Guide for Building Design and Construcción*.
24. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales (UICN). (2011). *Guía de manejo de escombros y otros residual de la construcción*. San Jose: UICN, Oficina Regional para Mesoamérica y la iniciativa Caribe .
25. Vefago, L. H., & Avellaneda, J. (2013). Recycling concepts and the index of recyclability for building materials. *Resources, Conservation and Recycling* (72), 127-135.
26. Zamora, J.L. (2013). Materiales edificatorios en una construcción industrializada ecológica. En *Aquitectura Ecoeficiente* (Vol. 1, pp. 224-249).

Apéndices

Apéndice A. Consiste en un documento creado en Microsoft Excel para solicitar información sobre los productos y materiales a los fabricantes. La información brindada en esta hoja será utilizada como base para evaluar los materiales de acuerdo con los indicadores y criterios establecidos.

Apéndice B. Se presenta un cuadro donde se muestran los pesos de cada crédito en el sistema de evaluación y certificación LEED v2009. Se muestran los porcentajes que corresponden del total tanto los capítulos enteros como los créditos individuales. También se muestra para el capítulo de materiales (MR) el porcentaje que representa cada crédito relativo a ese capítulo.

Apéndice C. Se presenta la lista de materiales que se consideran como importantes, debido a que representan un costo importante o cantidad importante. Se incluye esta lista como ejemplo del proceso de identificación de categorías materiales. Se presenta la lista de materiales correspondiente al proyecto ArthoCare. Se omite la columna de costo debido a que son datos confidenciales de la empresa Volio y Trejos.

Apéndice A . Hoja de solicitud de información sobre materiales

Apéndice A 1. Hoja de solicitud de información enviada a empresas

Información de material/ producto <i>*Únicamente un producto/material por formulario</i>		
FECHA:	<input type="text"/>	
INFORMACIÓN GENERAL DEL PRODUCTO		
Nombre del producto:	<input type="text"/>	
Descripción:	<input type="text"/>	
Fabricante:	<input type="text"/>	
Código:	<input type="text"/>	
Contenido reciclado		
% Pre-consumidor	<input type="text"/>	%
% Post-consumidor	<input type="text"/>	%
Total	<input type="text"/>	%
Energía Incorporada		
¿Se conoce la energía consumida por el producto durante la etapa de extracción de materias primas hasta la salida de la fábrica del producto final?	<input type="text"/>	
Energía incorporada del producto al momento de venta; De la cuna a la puerta (salida de fábrica) (MJ/kg)	<input type="text"/>	

Apéndice A. Continuación

Técnicas de extracción y producción

Describa brevemente el procesos de extracción y/o adquisición de materias primas

--

Describa brevemente el proceso de fabricación del producto.

--

¿Cuenta la empresa con estrategias para reducir el impacto ambiental y social de la producción? En caso de ser así ¿en que consisten estas estrategias? Describirlas brevemente.

--

Certificaciones

¿Cuenta el producto con certificaciones emitidas por terceros?

--

¿Cuenta la empresa con certificaciones emitidas por terceros?

--

Proveer un listado de las certificaciones

--

Apéndice A. Continuación

Materiales renovables

¿El producto contiene materiales renovables?

¿En que cantidad? (% por peso)

%

Reciclabilidad

¿En que porcentaje es reciclable el producto al llegar al final de su vida útil?

%

¿La empresa recibe sus productos al final de su vida útil para ser reciclados?

Innovación

¿Presenta el producto alguna innovación en tecnología, rendimiento o desempeño que lo diferencie de los demás productos similares del mercado?

Describe brevemente

Resistencia/ propiedades mecánicas

Adjuntar ficha técnica con las propiedades del producto/material

Describe las principales características mecánicas del producto según su función

Ejemplo: Resistencia a la compresión (kg/cm²)

Apéndice A. Continuación

Especificaciones estandarizadas

¿Cumple el producto con especificaciones estandarizadas?
Normas o especificaciones con las que cumple el producto

Durabilidad

Vida útil estimada del producto en años
Garantía del producto

Modulación

¿Permite el producto realizar diseños modulares?
¿Se vende en variedad de tamaños predeterminados?
Dimensiones disponibles para el producto, por favor incluir unidades

Instalación

Describa brevemente el proceso de instalación del producto
¿Está diseñado para ser instalado utilizando adhesivos o uniones mecánicas o ambos?
¿El producto está diseñado para ser desinstalado con facilidad al final de su vida útil?

Apéndice A. Continuación

Inversión inicial

Costo del producto por unidad (colones o dólares)

Favor especificar la moneda

Favor especificar la unidad

Emanaciones de COVs

Emanaciones de Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC) (g/l)

Origen del producto

Procedencia de la materia prima

En caso de ser importada ¿de que país proviene?

% de material importado (por peso del producto terminado)

Lugar de manufactura (fábrica)

Mantenimiento

¿Cuál es el mantenimiento recomendado para el producto?

¿Que tan frecuentemente se debe realizar el mantenimiento descrito?

¿Qué productos se recomienda utilizar para realizar el mantenimiento?

Apéndice A. Continuación

Costo de instalación

Costo estimado de instalación con relación al costo del producto

¿Que nivel de especialización se requiere para instalar el producto?

Responsabilidad Social

¿Cuenta la empresa con programas de responsabilidad social empresarial?

En caso de ser así, describa brevemente en qué consisten estos programas.

Información preparada por

Nombre:

Compañía:

Fecha:

Firma:

Elaboración propia (Microsoft Excel 2011)

Apéndice B. Pesos de créditos LEED v2009

			Puntos	Peso relativo al área	Peso relativo al total	Peso de cada área
Sitios Sostenibles		Puntaje máximo	26			23.64 %
Prereq 1	Construction Activity Pollution Prevention					
Credit 1	Site Selection		1		0.91%	
Credit 2	Development Density and Community Connectivity		5		4.55%	
Credit 3	Brownfield Redevelopment		1		0.91%	
Credit 4.1	Alternative Transportation—Public Transportation Access		6		5.45%	
Credit 4.2	Alternative Transportation—Bicycle Storage and Changing Rooms		1		0.91%	
Credit 4.3	Alternative Transportation—Low-Emitting and Fuel-Efficient Vehicles		3		2.73%	
Credit 4.4	Alternative Transportation—Parking Capacity		2		1.82%	
Credit 5.1	Site Development—Protect or Restore Habitat		1		0.91%	
Credit 5.2	Site Development—Maximize Open Space		1		0.91%	
Credit 6.1	Stormwater Design—Quantity Control		1		0.91%	
Credit 6.2	Stormwater Design—Quality Control		1		0.91%	
Credit 7.1	Heat Island Effect—Non-roof		1		0.91%	
Credit 7.2	Heat Island Effect—Roof		1		0.91%	
Credit 8	Light Pollution Reduction		1		0.91%	

Fuente: Elaboración propia con datos de LEED v2009 (Microsoft Excel 2011)

Apéndice B. Continuación

Uso eficiente del agua		Puntaje máximo	10			9.09%
Prereq 1	Water Use Reduction—20% Reduction					
Credit 1	Water Efficient Landscaping		4		3.64%	
Credit 2	Innovative Wastewater Technologies		2		1.82%	
Credit 3	Water Use Reduction		4		3.64%	
Atmósfera y energía		Puntaje máximo	35			31.82 %
Prereq 1	Fundamental Commissioning of Building Energy Systems					
Prereq 2	Minimum Energy Performance					
Prereq 3	Fundamental Refrigerant Management					
Credit 1	Optimize Energy Performance		19		17.27 %	
Credit 2	On-Site Renewable Energy		7		6.36%	
Credit 3	Enhanced Commissioning		2		1.82%	
Credit 4	Enhanced Refrigerant Management		2		1.82%	
Credit 5	Measurement and Verification		3		2.73%	
Credit 6	Green Power		2		1.82%	
Materiales y recursos		Puntaje máximo	14			12.73 %
Prereq 1	Storage and Collection of Recyclables					
Credit 1.1	Building Reuse—Maintain Existing Walls, Floors, and Roof		3	21.43%	2.73%	
Credit 1.2	Building Reuse—Maintain 50% of Interior Non-Structural Elements		1	7.14%	0.91%	
Credit 2	Construction Waste Management		2	14.29%	1.82%	
Credit 3	Materials Reuse		2	14.29%	1.82%	
Credit 4	Recycled Content		2	14.29%	1.82%	
Credit 5	Regional Materials		2	14.29%	1.82%	
Credit 6	Rapidly Renewable Materials		1	7.14%	0.91%	
Credit 7	Certified Wood		1	7.14%	0.91%	

Fuente: Elaboración propia con datos de LEED v2009 (Microsoft Excel 2011)

Apéndice B. Continuación

Calidad del ambiente interno		Puntaje máximo	15			13.64 %
Prereq 1	Minimum Indoor Air Quality Performance	0				
Prereq 2	Environmental Tobacco Smoke (ETS) Control	0				
Credit 1	Outdoor Air Delivery Monitoring	1			0.91%	
Credit 2	Increased Ventilation	1			0.91%	
Credit 3.1	Construction IAQ Management Plan—During Construction	1			0.91%	
Credit 3.2	Construction IAQ Management Plan—Before Occupancy	1			0.91%	
Credit 4.1	Low-Emitting Materials—Adhesives and Sealants	1			0.91%	
Credit 4.2	Low-Emitting Materials—Paints and Coatings	1			0.91%	
Credit 4.3	Low-Emitting Materials—Flooring Systems	1			0.91%	
Credit 4.4	Low-Emitting Materials—Composite Wood and Agrifiber Products	1			0.91%	
Credit 5	Indoor Chemical and Pollutant Source Control	1			0.91%	
Credit 6.1	Controllability of Systems—Lighting	1			0.91%	
Credit 6.2	Controllability of Systems—Thermal Comfort	1			0.91%	
Credit 7.1	Thermal Comfort—Design	1			0.91%	
Credit 7.2	Thermal Comfort—Verification	1			0.91%	
Credit 8.1	Daylight and Views—Daylight	1			0.91%	
Credit 8.2	Daylight and Views—Views	1			0.91%	
Innovación		Puntaje máximo	6			5.45%
Credit 1.1	Innovation in Design: Specific Title	1			0.91%	
Credit 1.2	Innovation in Design: Specific Title	1			0.91%	
Credit 1.3	Innovation in Design: Specific Title	1			0.91%	
Credit 1.4	Innovation in Design: Specific Title	1			0.91%	
Credit 1.5	Innovation in Design: Specific Title	1			0.91%	
Credit 2	LEED Accredited Professional	1			0.91%	

Fuente: Elaboración propia con datos de LEED v2009 (Microsoft Excel 2011)

Apéndice B. Continuación

Prioridad regional		Puntaje máximo	4			3.64%
Credit 1.1	Regional Priority: Specific Credit		1		0.91%	
Credit 1.2	Regional Priority: Specific Credit		1		0.91%	
Credit 1.3	Regional Priority: Specific Credit		1		0.91%	
Credit 1.4	Regional Priority: Specific Credit		1		0.91%	
Total		<i>Puntos posibles</i>	110		100.00 %	100.00 %

Elaboración propia con datos de LEED v2009 (Microsoft Excel 2011)

Apéndice C. Lista de materiales seleccionados del proyecto ArthroCare

Material	Fabricante	Proveedor	Tipo
TUBO ESTR 50X200X2.38MMX6MTS	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	Acero
LAMINA HIERRO NEGRO 1.22X2.44X6mm	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	Acero
TUBO ESTR 50X100X3.17MMX6MTS	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	Acero
LAMINA HIERRO NEGRO 1.22X2.44X1mm	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	Acero
LAMINA HIERRO NEGRO 1.22X2.44X5mm ANTIDESLIZANTES	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	Acero
TUBO ESTR 50X100X1.80MMX6MTS	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	Acero
LAMINA HIERRO NEGRO 1.22X2.44X4.75mm	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	Acero
TUBO ESTR 50X150X3.2MMX6MTS	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	Acero
LAMINA HIERRO NEGRO 1.22X2.44X3mm	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	Acero
TUBO ESTR 100X200X4.75MMX6MTS	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	Acero
TUBO ESTR 50X150X2.37MMX6MTS	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	Acero
TUBO ESTR 50X50X2.38MMX6MTS	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	Acero
TUBO ESTR 100X100X4.75MMX6MTS	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	Acero
TUBO CEDULA 40 75MMX6MTS	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	Acero
TUBO ESTR 100X150X3.17MMX6MTS	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	Acero
TUBO ESTR 50X75X2.38MMX6MTS	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	ACEROS ABONOS AGRO S.A.	Acero
TUBO ESTR 125X125X3.2MMX6MTS	ACEROS CARAZO + REIMERS S.A.	ACEROS CARAZO + REIMERS S.A.	Acero
VIGAS DE ACERO W 14X30X9MTS	ACEROS CARAZO + REIMERS S.A.	ACEROS CARAZO + REIMERS S.A.	Acero
VIGA WF 12"X40LB/PIE X12MTS	ARCELORMITTAL COSTA RICA S.A.	ARCELORMITTAL COSTA RICA S.A.	Acero
VIGA WF 12"X26LB/PIE X12MTS	ARCELORMITTAL COSTA RICA S.A.	ARCELORMITTAL COSTA RICA S.A.	Acero
TUBO ESTR 72X72X3.2MMX6MTS	METALCO S. A.	CONSTRUPLAZA S.A.	Acero

Apéndice C. Continuación

TUBO ESTR 150X150x3.2MMX6MTS	METALCO S. A.	CONSTRUPLAZA S.A.	Acero
TUBO ESTR 100X100X1.80MMX6MTS	METALCO S. A.	CONSTRUPLAZA S.A.	Acero
ANGULARES 50X50X4MMX6MTS	METALCO S. A.	CONSTRUPLAZA S.A.	Acero
ANGULARES 60X60X6MMX6MTS	METALCO S. A.	CONSTRUPLAZA S.A.	Acero
TUBO ESTR 50X50X1.8MMX6MTS	METALCO S. A.	CONSTRUPLAZA S.A.	Acero
TUBO ESTR 72X72X2.38MMX6MTS	METALCO S. A.	CONSTRUPLAZA S.A.	Acero
TUBO ESTR 100X100X3.17MMX6MTS	METALCO S. A.	CONSTRUPLAZA S.A.	Acero
Varilla	ARCELOR	El Lagar	Acero
Vigas W	USA	Inversiones 12H	Acero
Tubería cuadrada y rectangular.	METALCO S. A.	METALCO S. A.	Acero
Tubería cuadrada y rectangular.	Metales Flix	Metales Flix.	Acero
PARTICIONES SANITARIAS MODELO SS (ACERO INOXIDABLE) HERRAJES ACERO INOX CON SET DE PRIVACIDAD MONTAJES A PISO /500 SERIES	Bradley Corp.	ALUMIMUNDO S.A.	Acero
IIG Fibra Mineral	Greenguard	All Steel Building Materials Int.	Aislante
ANGULAR DE ALUMINIO NATURAL 1/2X3/8X6.30 MTS	ALUVICON S.A.	ALUVICON S.A.	Aluminio
ANGULARES ALUMINIO NATURAL 2"x2"x3.18MMx6.30	ALUVICON S.A.	ALUVICON S.A.	Aluminio
Rodapie de aluminio natural	Extrusiones de Aluminio S. A.	FNSTR TECNOLOGIA Y ACABADOS S.A.	Aluminio
Cielo suspendido Ultima Beveled tegular	Armstrong	All Steel Building Materials Int.	Cielos
Cielo suspendido Ultima Square Lay in	Armstrong	All Steel Building Materials Int.	Cielos
Cielo suspendido Gridstone #5045	Gridstone	All Steel Building Materials Int.	Cielos
Cielo suspendido Gridstone #5044	Gridstone	All Steel Building Materials Int.	Cielos
Gypsum tipo X Mold Tough 5/8"	USG	All Steel Building Materials Int.	Divisiones livianas
Gypsum tipo X 5/8"	USG	All Steel Building Materials Int.	Divisiones livianas
Durock Next Gen 5/8"	USG	All Steel Building Materials Int.	Divisiones livianas
Durock Nex Gen 1/2"	USG	All Steel Building Materials Int.	Divisiones livianas

Apéndice C. Continuación

Ultrade Core 3/4"	USG	All Steel Building Materials Int.	Divisiones livianas
Ultralight Mold Tough 1/2"	USG	MACOPA	Divisiones livianas
Gypsum Ultralight 1/2"	USG	MACOPA	Divisiones livianas
PISO DE MADERA SOLIDA PERFORMANCE PLUS ESP5240 78.35 18.021.70 EN PLANKS DE 5" DE ANCHO 3/8 ESPESOR LARGO VARIABLE COLOR MAPLE NATURAL	ARMSTRONG	ALUMIMUNDO S.A.	Madera
Piezas madera pino	Mexichen Costa Rica	Juan Guillén Rivera	Madera
Madera melina	Maderas Cultivadas de CR	Muebles Alve de CR	Madera
Madera pino	Maderas Cultivadas de CR	Muebles Alve de CR	Madera
Lamina MDF	Maderas Cultivadas de CR	Muebles Alve de CR	Madera
Laminado eucalipto	Maderas Cultivadas de CR	Muebles Alve de CR	Madera
PISO TAPIFLEX EXCELLENCE 65 ACUSTICO UNI DARK GREY 25016 016	Tarkett	ALUMIMUNDO S.A.	Piso
PISO TAPIFLEX EXCELLENCE 65 ACUSTICO ESQUISSE GREY BEIGE 25012 012	Tarkett	ALUMIMUNDO S.A.	Piso
PISO TAPIFLEX EXCELLENCE 65 ACUSTICO MAPLE 25019 005 ROLLO 3.05MM	Tarkett	ALUMIMUNDO S.A.	Piso
PISO TAPIFLEX EXCELLENCE 65 ACUSTICO VARIO LIGTH COOL GREY 25015	Tarkett	ALUMIMUNDO S.A.	Piso
PISO WALLGARD 3388-011	Tarkett	ALUMIMUNDO S.A.	Piso
PISO TORO 3093 101 ROLLO 2MM	Tarkett	ALUMIMUNDO S.A.	Piso
PISO IQ GRANIT 3040 435 ROLLO 2MM	Tarkett	ALUMIMUNDO S.A.	Piso
PISO TAPIFLEX EXCELLENCE 65 ACUSTICO MATRIX2 PHOSPHO 25013 101	Tarkett	ALUMIMUNDO S.A.	Piso
PISO TAPIFLEX EXCELLENCE 65 ACUSTICO UNI WARN GREY 25016 025	Tarkett	ALUMIMUNDO S.A.	Piso
PISO IQ GRANIT 3243 382 LOSETA 0.61X0.61	Tarkett	ALUMIMUNDO S.A.	Piso
PISO IQ GRANIT 3040 383 ROLLO 2MM	Tarkett	ALUMIMUNDO S.A.	Piso
PISO IQ GRANIT SD 3097 711 LOSETA 0.61X0.61	Tarkett	ALUMIMUNDO S.A.	Piso

Apéndice C. Continuación

QUARZTONE 12 mm	Granitos & Marmoles S.A	Centro de Acabados LISSO S.A.	Acabados
KRION, Snow White (12/6 mm)	SYSTEMPOOL, Grupo Porcelanosa	Centro de Acabados LISSO S.A.	Piso
PORCELANATO MATE 20X20 QUARRY TILE ASIAGO G45004 FIANDRE	Graniti Fiandre S.p.A	CONSTRUPLAZA S.A.	Piso
Alfombra Modular 50x50cm Accent Flannel	Interface	Euromobilia S. A.	Piso
Alfombra Modular 50x50cm Redeliver	Interface	Euromobilia S. A.	Piso
PORCELANATO AZULEJO 25X40 CM COLOR GRIS	Grupo Lamosa	HONG XING GROUP COSTA RICA S.A.	Piso
PORCELANATO MIRAGLE GRIGIO POLVERE 30X60 RECTIFICADO ACABADO BOCCIARDATO	Mirage Granito Ceramico SPA	HONG XING GROUP COSTA RICA S.A.	Piso
PORCELANATO MIRAGLE LINEA NORR SVART RR03 NAT 60X60 RECTIFICADO ACABADO BOCCIARDATO	Mirage Granito Ceramico SPA	HONG XING GROUP COSTA RICA S.A.	Piso
PORCELANATO MIRAGLE LINEA REPLAIN GRIGIO POLVERE PA 15 NAT 60X60 ACABADO MATE	Mirage Granito Ceramico SPA	HONG XING GROUP COSTA RICA S.A.	Piso
PORCELANATO MIRAGLE LINEA REPLAIN PA07 BLANCO 30X60 RECTIFICADO ACABADO MATE	Mirage Granito Ceramico SPA	HONG XING GROUP COSTA RICA S.A.	Piso
PORCELANATO CAESAR ITALIA MORE 60X60 MANHATHAN	Ceramiche Caesar S.p.A.	KOSES IT DESIGNER S.A.	Piso
Eco-Deck	Ecomateriales S.A.		Piso
Eco-Floor	Ecomateriales S.A.		Piso
Eco-Siding	Ecomateriales S.A.		Siding
UltraPly™ TPO	Firestone Building Products	Holland Roofing Costa Rica Ltda	Techo
VIDRIOS TEMPERADOS 1/4"	KERAGLASS SNC	ALUMIMUNDO S.A.	Vidrio
VIDRIO KERALITE 90 F	KERAGLASS SNC	ALUMIMUNDO S.A.	Vidrio
Vidrios 8mm	Extralum	Proyectos AV SRL	Vidrio
Vidrio Templado 10mm	Extralum	Proyectos AV SRL	Vidrio
Aluminio	Extralum	Proyectos AV SRL	Vidrio
Vidrio Insulado	Extralum	Proyectos AV SRL	Vidrio
VIDRIOS WIRED FR 1/4"	KERAGLASS SNC	ALUMIMUNDO S.A.	Vidrio
RODAPIE DE HULE 120 BASEWORKS	Tarkett	ALUMIMUNDO S.A.	Acabados
BASE PARA CURVA PA40	Tarkett	ALUMIMUNDO S.A.	Acabados

Apéndice C. Continuación

REMATE PARA CURVA CAP1	Tarkett	ALUMIMUNDO S.A.	Acabados
SOLDADURA 50 ML PARA MULTICOLOR	Tarkett	ALUMIMUNDO S.A.	Adesivos
PEGAMENTO MODELO 640 ADHESIVO PARA VINIL	WVHenry Company y Ardex	ALUMIMUNDO S.A.	Adesivos
PEGAMENTO PROCONNECT 00740418	WVHenry Company y Ardex	ALUMIMUNDO S.A.	Adesivos
PEGAMENTO VOC FREE 622	WVHenry Company y Ardex	ALUMIMUNDO S.A.	Adesivos
Backing Reciclado para alfombra modular	Interface	Euromobilia S. A.	Alfombras
FRAGUA EPOXICA COLOR GRAFITO #12	INTACO COSTA RICA S.A.	INTACO COSTA RICA S.A.	Fraguas y morteros
FRAGUA EPOXICA COLOR ARTICO #38	INTACO COSTA RICA S.A.	INTACO COSTA RICA S.A.	Fraguas y morteros
MORTERO BONDEX PLUS XD	INTACO COSTA RICA S.A.	INTACO COSTA RICA S.A.	Fraguas y morteros
Tela de poliester con propiedades acústicas para sistema de Recubrimiento Acústico para cielos y Paredes	Innovasia Fabric	INVERSIONES ALTERNATIVAS DEL ESTE B.S.G. S.A.,	Acabados

Fuente: Elaboración propia con base en datos de SPHERA S.A.

Anexos

Anexo A. Como ejemplo de herramientas que ya existen, se presenta el resultado de la evaluación de una edificación utilizando la herramienta IE4B. Los resultados presentan el impacto que tiene la edificación dividido en las siguientes actividades: cimientos, vigas y columnas, entresijos, paredes exteriores, paredes internas, ventanería y techo.

Anexo B. Se presenta un cuadro que resume los créditos LEED que evalúan los materiales utilizados.

Anexo C. Se presenta el modelo de evaluación que utiliza la herramienta BEES

Anexo D. Evaluación propuesta por Akadiri et al. (2011)

Anexo E. Modelo de evaluación propuesto por Bakhoun & Brown (2013)

Anexo F. Se presentan los pesos que se utilizan en la herramienta BEES para la evaluación de materiales. Estos pesos se usaron como una guía al determinar los pesos de la metodología propuesta.

Anexo G. Capítulo de materiales de la norma RESET. Se utilizó este capítulo para determinar, en conjunto con otras normas, cuáles son los indicadores más relevantes a incluir en la evaluación de materiales.

Anexo H. Se presenta un cuadro con los criterios para asignar los pesos a cada indicador que utiliza el SBTool. Estos criterios para asignar los pesos fueron utilizados como guía para determinar los pesos de los indicadores propuestos en esta metodología.

Anexo I. Se presenta un cuadro con los precios promedio para muchos materiales de construcción, según la base de datos de Lógica Tropical. Estos precios se utilizan como base para comparar el costo inicial de los productos de construcción.

Anexo J. Lista de valores límite de emisión de COVs para productos de construcción. Estos son los valores que LEED utiliza para evaluar los créditos de Calidad interior del Aire. Se incluyen valores de varias normas. Estos valores se utilizaron como referencia para determinar los rangos aceptables de COVs para productos de construcción.

Anexo K. Valores de energía incorporada para materiales de construcción, según varias fuentes.

Anexo A. Resultado de la herramienta IE4B



**Athena
EcoCalculator**
for Commercial Assemblies

Version 3.71
Location: Orlando
ASHRAE climate zone 2
Low-rise structures (Up to 4 stories)

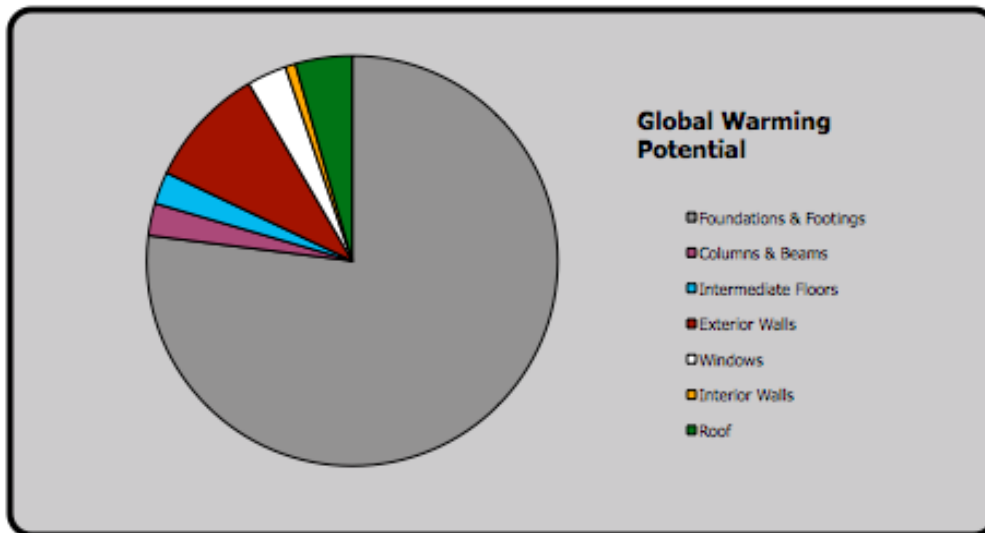
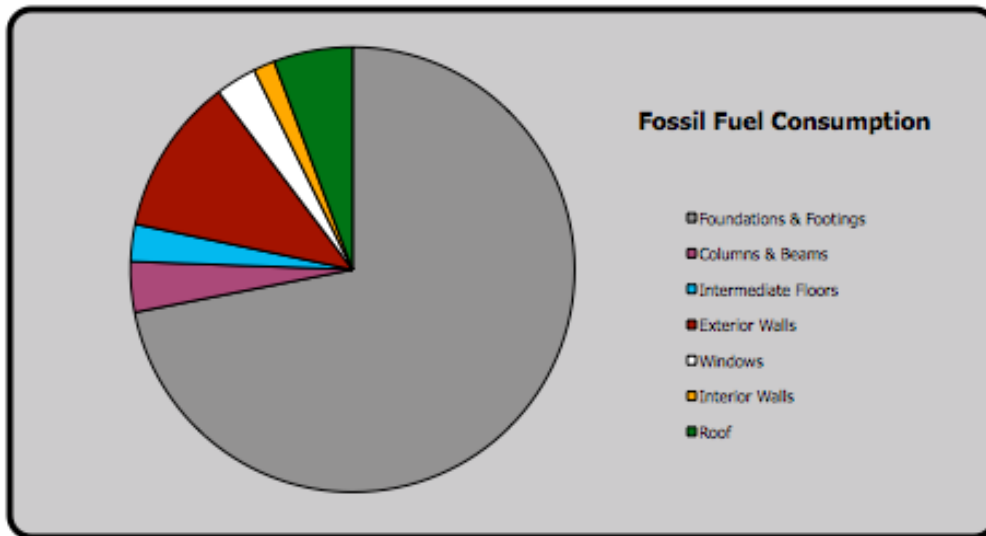
ENVIRONMENTAL IMPACT SUMMARY

ASSEMBLY	Total area	Fossil Fuel Consumption (MJ) TOTAL	GWP (tonnes CO2eq) TOTAL	Acidification Potential (moles of H+ eq) TOTAL	Human Health Criteria (kg PM10 eq) TOTAL	Eutrophication Potential (g N eq) TOTAL	Ozone Depletion Potential (mg CFC-11 eq) TOTAL	Smog Potential (kg NOx eq) TOTAL
Foundations & Footings	300	335,544	35	9,036	117	9,249	285	1,895
Columns & Beams	200	17,093	1	346	3	860	5	49
Intermediate Floors	200	12,599	1	313	4	234	5	65
Exterior Walls	300	53,289	4	1,440	11	1,209	39	219
Windows	50	13,927	1	736	27	387	3	118
Interior Walls	200	7,310	0	112	4	155	0	11
Roof	200	26,801	2	716	6	7,084	44	184
TOTALS		466,563	45	12,700	171	19,178	382	2,541

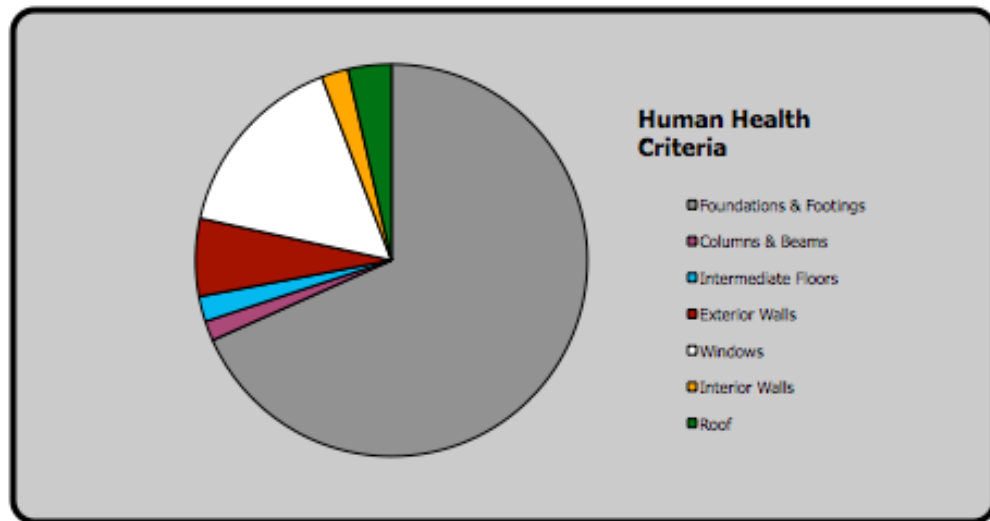
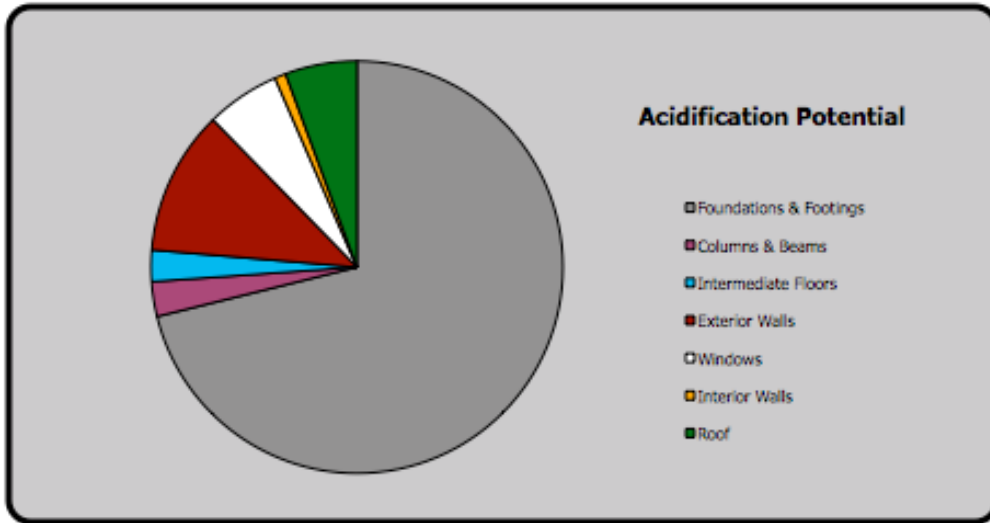
Percentages by assembly groups
(these results are shown in the pie charts below)

Fossil Fuel Consumption	Global Warming Potential	Acidification Potential	Human Health Criteria	Eutrophication Potential	Ozone Depletion Potential	Smog Potential
72%	77%	71%	68%	48%	75%	75%
4%	3%	3%	2%	4%	1%	2%
3%	3%	2%	2%	1%	1%	3%
11%	10%	11%	6%	6%	10%	9%
3%	3%	6%	16%	2%	1%	5%
2%	1%	1%	2%	1%	0%	0%
6%	4%	6%	4%	37%	12%	7%

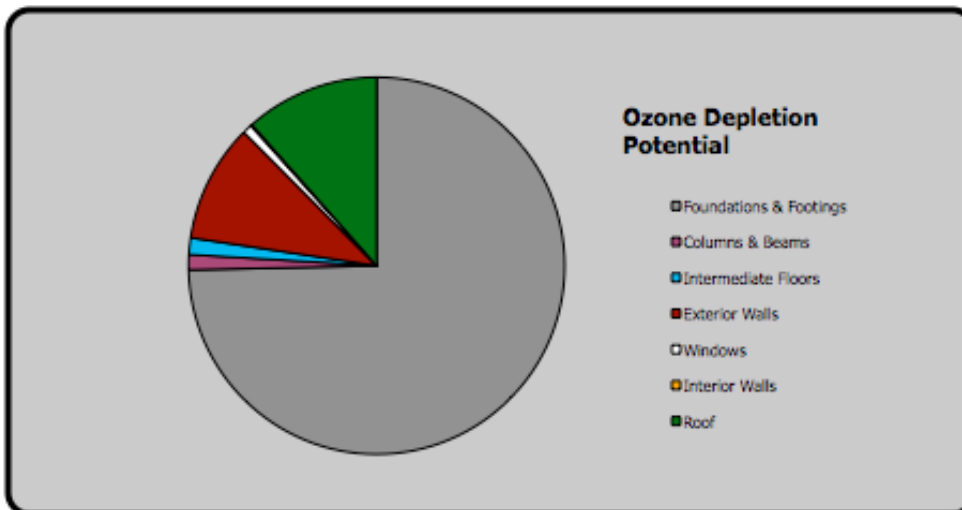
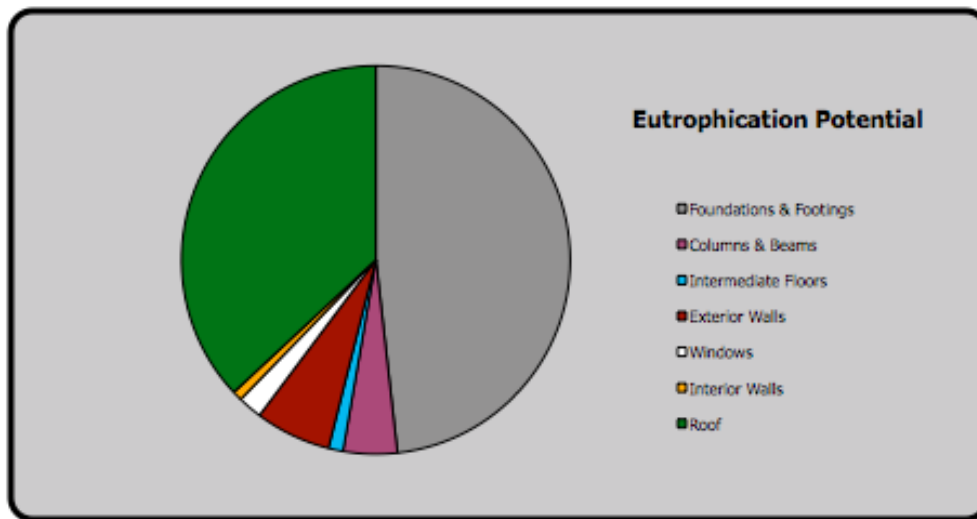
Anexo A. Continuación



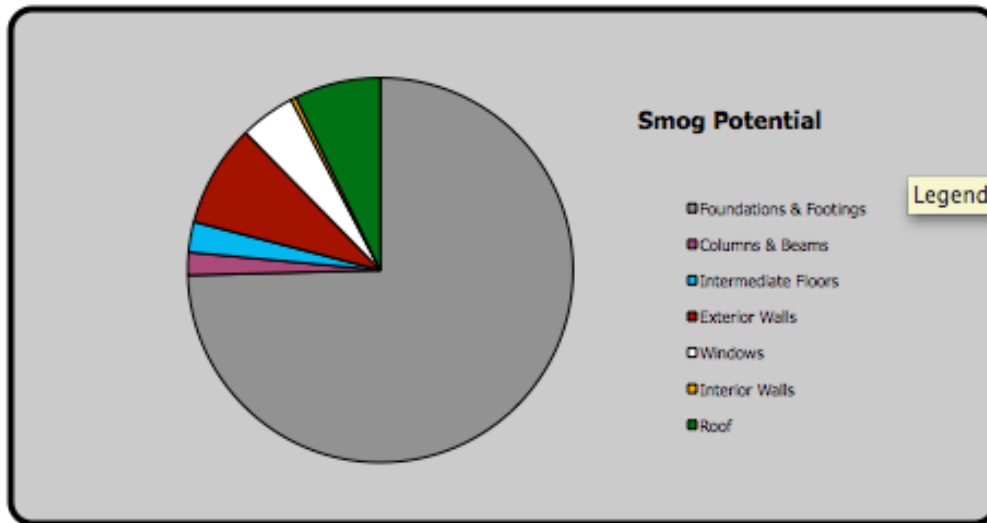
Anexo A. Continuación



Anexo A. Continuación



Anexo A. Continuación



Fuente: IE4B

Anexo B. Créditos LEED relacionados a materiales

Área	Crédito		Puntos	Criterio de cumplimiento	Objetivo
Sitios sostenibles (SS)	7.1	Efecto isla de calor- no techo	1		Reducir el efecto de isla de calor producto de la absorción de calor por materiales como concreto y asfalto
	7.2	Efecto Isla de calor- techo	1	Índice de reflectancia solar (SRI) mayor a 78 para techos con baja pendiente ($\leq 2:12$). Mayor a 29 para techos de alta pendiente ($> 2:12$). Mínimo el 75% del área de superficie del techo debe cumplir con estos valores.	Reducir el efecto denominado isla de calor, producto de la absorción térmica de los materiales expuestos a la incidencia solar.
Recursos y Materiales (MR)	4	Contenido reciclado	2	Utilizar materiales con contenido reciclado, de tal manera que el contenido reciclado total constituya mínimo un 10% del costo total de los materiales (1 pto) y productos permanentemente instalados en el proyecto. 20% (2 ptos)	Incrementar la demanda de productos para la construcción que contengan materiales reciclados, reduciendo así el impacto causado por la extracción y manufactura de materias primas vírgenes

Anexo B. Continuación

Recursos y Materiales (MR)	5	Materiales regionales	2	Utilizar materiales y productos para la construcción que hayan sido extraídos, cosechados y fabricados dentro de la misma región del proyecto. Se considera regional un radio de 500 millas alrededor del proyecto. 1 punto = 10% (por costo) de todos los materiales cumplen, 2 puntos = 20% (por costo) de todos los materiales cumplen.	Incrementar el uso y la demanda de materiales y productos que se extraigan y fabriquen en la región para apoyar la economía local y reducir el impacto ambiental del transporte de productos y materiales por largas distancias.
	6	Materiales rápidamente renovables	1	Utilizar materiales y productos para la construcción que sean renovables a corto plazo (10 años) para al menos 2.5% del total de los materiales utilizados, basado en el costo. Se considera un material renovable aquel de origen vegetal, de plantas que se cosechan en un periodo de 10 años o menos.	Reducir el consumo y la depleción de material primas finitas y materiales renovables a largo plazo, reemplazando su uso por materiales renovables a corto plazo.
	7	Madera certificada	1	Utilizar un mínimo de 50% (por costo) de materiales maderosos que estén certificados. Ej: FSC	Fomentar el manejo adecuado de recursos forestales

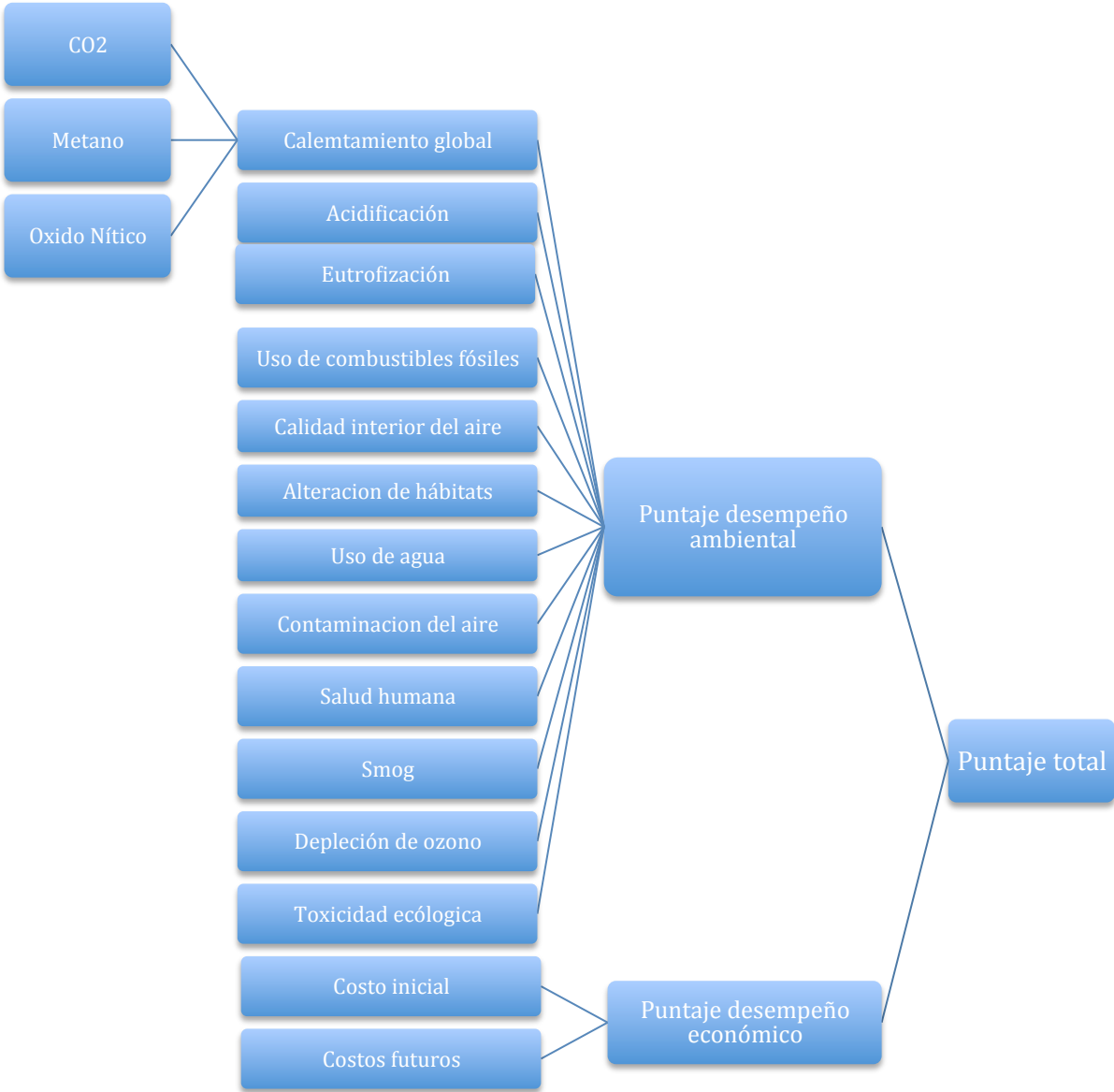
Anexo B. Continuación

Calidad del ambiente interno (IEQ)	4.1	Materiales de baja emisividad- adhesivos y selladores	1	Todos los adhesivos y selladores deben cumplir con SCAQMD* Rule #1168
	4.2	Materiales de baja emisividad - Pinturas y recubrimientos	1	Todas las pinturas y repellos deben cumplir con el limite de VOCs establecido por SCAQMD* rule 1113
	4.3	Materiales de baja emisividad - alfombras	1	Todas las alfombras utilizadas deben de cumplir con los requerimientos de Carpet and Rug Intitute Green Label Plus program
	4.4	Materiales de baja emisividad - Producos de madera compuestos y agrofibras	1	Productos compuestos de madera no deberán contener resinas de urea-formaldehído.

*South Coast Air Quality Management District

Fuente: USGBC (2014)

Anexo C. Modelo de evaluación de la herramienta BEES



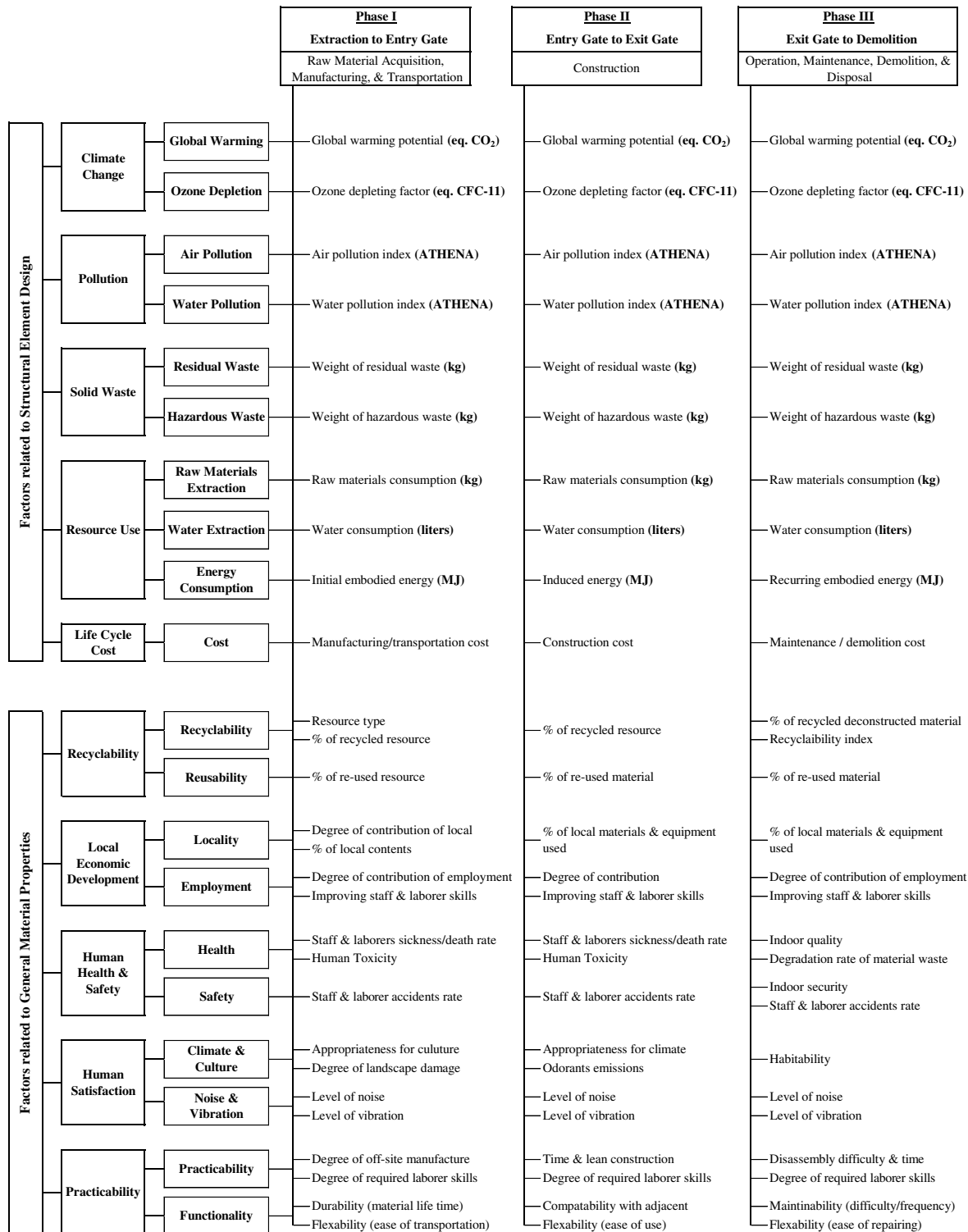
Fuente: BEES (NIST)

Anexo D. Criterios propuestos por Akadiri et al. (2013)

Criterios ambientales		Criterios socioeconómicos		Criterios técnicos	
1	Potencial de reusó y reciclaje	1	Costo de disposición	1	Mantenimiento
2	Disponibilidad de opciones seguras para la disposición del material	2	Seguridad y salud humana	2	Facilidad de instalación
3	Impacto del material en la calidad del aire	3	Costo de mantenimiento	3	Resistencia al deterioro
4	Potencial de depleción de ozono	4	Estética	4	Resistencia al fuego
5	Impacto ambiental durante el procesos de extracción	5	Uso de materiales locales	5	Vida útil del material
6	Cero o baja toxicidad	6	Costo inicial	6	Desempeño energético
7	Cumplimiento con regulaciones ambientales	7	Disponibilidad de mano de obra		
8	Mínima contaminación				
9	posible desperdicio de material durante su instalación				
10	Métodos de extracción del material				
11	Energía incorporada				

Fuente: (Akadiri, Olomolaiye, & Chinyio, 2013)

Anexo E. Criterios para evaluar materiales según Bakhoum & Brown (2012)



Fuente: (Bakhoum & Brown, 2012)

Anexo F. Pesos por indicador de la herramienta BEES

Pesos según BEES	
Impacto	Peso
Calentamiento global	29
Acidificación	3
Eutrofización	6
Consumo de combustibles fósiles	10
Calidad de aire interior	3
Alteración de hábitat	6
Uso de agua	8
Contaminación del aire	9
Smog	4
Eco toxicidad	7
Depleción de ozono	2
Salud humana	13
Total	100

Pesos según el EPA Science Advisory Board	
Impacto	Peso
Calentamiento global	16
Acidificación	5
Eutrofización	5
Consumo de combustibles fósiles	5
Calidad de aire interior	11
Alteración de hábitat	16
Uso de agua	3
Contaminación del aire	6
Smog	6
Eco toxicidad	11
Depleción de ozono	5
Salud humana	11
Total	100

Anexo G. Capítulo de materiales de RESET

Materiales		Requisitos	
Objetivo	Concepto	Criterios	Valor de referencia
Considerar el ciclo de vida del edificio y sus componentes	Recuperar y reutilizar material y componentes de construcciones existentes	Se aprovechan materiales y componentes de una edificación existente en el sitio del proyecto	Se cuenta con evidencia fotográfica de la fuente y el uso de al menos 2% de los materiales de la edificación nueva y sus componentes
		Se incluyen materiales y componentes de edificaciones existentes en el país	Se cuenta con evidencia objetiva de la adquisición de al menos 2% de los materiales y componentes totales de la edificación
		Se diseña para propiciar el desmantelamiento de los componentes del edificio permitiendo su reutilización y reciclaje	Al menos 20% de los acabados cerramientos y componentes livianos y el 10% de los componentes estructurales de la edificación son diseñados para ser desmantelados
	Manejar adecuadamente los residuos durante la construcción para reinsertar materiales reciclables a proceso de fabricación reduciendo carga sobre rellenos sanitarios	Se separa para el reciclaje o recuperación un porcentaje de los escombros restos de materiales de construcción y demolición	El 25% de los materiales y elementos desechados se separan para su reciclaje o recuperación, (de cementos, madera, metal, cartón, vidrio, otros)
		Se coordina con programas locales de reciclaje, se llevan los residuos a centros de acopio o lugares indicados que los recuperan, alargando así el ciclo de vida de los materiales	Se cuenta con evidencia documental de que el 100% de los materiales y elementos reciclados fueron enviados a centros de acopio o similar

Fuente: INTE 06-12-01 2014 (INTECO 2014)

Anexo G. Continuación

Considerar el ciclo de vida del edificio y sus componentes	Se reduce el uso de materiales mediante un diseño eficiente.	Se diseña de manera modular reduciendo desperdicio. (Nota se considera consultar la normativa nacional de coordinación modular)	La edificación ha sido dimensionada al menos con base en dos de los siguientes componentes relevantes: cubiertas, cerramientos, entresijos, divisiones internas
		Se utilizan materiales livianos que representan reducción de peso de la edificación kg/m ²	Se presenta evidencia documental de que la edificación ha sido diseñada con materiales con pesos menores a 90 kg/m ² en al menos dos de los siguientes componentes relevantes: estructura, cubiertas, cerramientos
		Se utilizan materiales con contenido reciclado o materias con alta capacidad de reciclaje, reduciendo la demanda de materias primas	Al menos uno de los materiales más utilizados ya sea en estructura, cerramientos o acabados, cuenta con evidencia documentada de sus componentes reciclados o de su capacidad de reciclaje
Utilizar materiales amigables con el medio ambiente	Extender el ciclo de vida del edificio	Se considera la flexibilidad del uso del edificio en el tiempo, para así permitir su readecuación y cambio de uso	el 60% del área de las paredes divisorias interiores son independientes de la estructura principal y la envolvente del edificio
		Se incorpora estrategias para proteger debidamente partes expuestas del edificio y materiales que disminuyen la frecuencia de cambio	Se evidencia en el diseño y/o construcción la aplicación de la estrategia utilizada
		La superficie expuesta de los materiales utilizados son de bajo mantenimiento y de fácil limpieza	Al menos el 30% del área de la superficie expuesta de los materiales son de bajo mantenimiento y fácil limpieza

Fuente: INTE 06-12-01 2014 (INTECO 2014)

Anexo G. Continuación

Utilizar materiales amigables con el medio ambiente	Se utilizan recursos/materiales locales, apoyando economías locales y reduciendo la huella del transporte	Los materiales y productos de construcción utilizados son extraídos, cosechados, fabricados y/o manufacturados en el país	Al menos 40% del presupuesto de los materiales y productos utilizados en las edificaciones son nacionales
	Se incorporan materiales con etiquetado ambiental o provenientes de organizaciones con compromiso ambiental certificado	Los materiales utilizados o la organización que los fabrica cuenta con una certificación ambiental de tercera	Al menos 2% de los productos de construcción utilizados en la edificación cuentan con una certificación ambiental
	Se utilizan maderas de cultivo responsable o extracción de madera de bosques bajo la legislación vigente	La madera utilizada está certificada por la entidad competente o cumple con los requisitos legales vigentes	El 100% de la madera incorporada está certificada o cumple con los estándares de sostenibilidad establecidos en la legislación nacional.
		Se incorpora materiales de origen vegetal provenientes de recursos renovables de ciclos cortos de reposición (25)	El 100% del volumen nominal total de los materiales de origen vegetal no incorporados a la edificación (estructuras auxiliares, encofrados entre otros) proviene de materiales de origen vegetal de ciclos cortos de recuperación

Fuente: INTE 06-12-01 2014 (INTECO 2014)

Anexo H. Factores para asignar pesos a indicadores según el SBTool

Peso	Impacto local	Alcance de los posibles impactos	Duración de los posibles impactos	Intensidad de los posibles impactos	Sistema primario directamente afectado	Peso
1	Mucho menor	Edificación	1 a 3 años	Menor	Funcionalidad y de servicio	1
2	Menor	Sitio de proyecto	3 a 10 años	Moderado	Costo y economía	1
3	OK	Comunidad	10 a 30 años	Mayor	Seguridad, bien estar y productividad de los individuos	2
4	Más	Región	30 a 75 años		Aspectos social y cultural	2
5	Mucho más	Global	>75 años		Recursos terrestres	3
					Recursos materiales no renovables	3
					Recursos hídricos no renovables	3
					Recursos energéticos no renovables	4
					Ecosistemas	3
					Atmósfera local y regional	4
					Clima global	5

Fuente: (Larsson, 2015)

Anexo I. Lista de precios promedio de algunos materiales, actualizado a mayo 2016

DESCRIPCIÓN DEL ARTÍCULO	Precio neto	Unidades de medida
ACCESORIOS PARA BAÑO COLOR	¢17 937.19	UNIDAD
ADAPTADOR HEMBRA 12 MM CPVC	¢1 331.51	UNIDAD
ADAPTADOR MACHO 12 MM CPVC	¢330.19	UNIDAD
ADAPTADOR MACHO 12 MM PVC	¢94.15	UNIDAD
ADAPTADOR MACHO 18 MM PVC	¢198.43	UNIDAD
ADAPTADOR PARA REGISTRO 100 MM PVC	¢3 265.55	UNIDAD
ALAMBRE NEGRO #16	¢519.80	KG
ALFAJIA 50 X 75 S/C SEMIDURA	¢905.21	METRO
ANGULAR P/GYPSUM 11 X 34 MM X 305 CM	¢1 507.19	UNIDAD
ARENA DE TAJO	¢14 170.75	M3
BAJANTE CANOA 75 MM X 300 CM PVC	¢8 335.08	UNIDAD
BARNIZ PARA EXTERIORES BRILLANTE	¢21 661.93	3.8LIT
BARNIZ PARA INTERIORES BRILLANTE	¢29 628.57	3.8LIT
BARNIZ PARA INTERIORES MATE	¢25 315.16	3.8LIT
BASE PARA MEDIDOR	¢21 198.50	UNIDAD
BISAGRA 50 X 75 MM DORADA	¢525.44	PAR
BLOQUE 12 X 20 X 40	¢390.87	UNIDAD
BONDEX 20 KG PLUS	¢6 680.16	SACO
BOQUILLA CANOA PVC 50 MM COLONIAL	¢2 143.40	UNIDAD
BOQUILLA CANOA PVC 50 MM LISA	¢2 181.63	UNIDAD
BOQUILLA CANOA PVC 75 MM COLONIAL	¢2 155.54	UNIDAD
BOQUILLA CANOA PVC 75 MM LISA	¢3 985.51	UNIDAD
CABLE TELEFONICO 1 PAR	¢106.17	METRO
CABLE TELEFONICO 2 PARES	¢177.76	METRO
CABLE TELEFONICO 4 PARES	¢348.41	METRO
CABLE TELEFONICO 6 PARES	¢536.03	METRO
CABLE THHN # 2 ROJO	¢3 452.74	METRO
CABLE THHN # 4 ROJO	¢2 160.61	METRO
CABLE THHN # 6 ROJO	¢1 264.01	METRO
CABLE THHN # 8 ROJO	¢782.55	METRO
CABLE THHN #10 ROJO	¢512.14	METRO
CABLE THHN #12 ROJO	¢254.42	METRO
CABLE THHN #14 ROJO	¢241.72	METRO
CACHERA BAÑO	¢110 511.09	UNIDAD
CACHERA FREGADERO	¢82 293.87	UNIDAD

Anexo I. Continuación

CACHERA LAVATORIO	¢95 059.90	UNIDAD
CAJA DE REGISTRO CONCRETO	¢5 141.50	UNIDAD
CAJA OCTOGONAL EMT	¢372.14	UNIDAD
CAJA RECTANGULAR EMT	¢308.12	UNIDAD
CANAL P/GYPSUM 12 MM X 488 CM (ROLLER	¢1 122.94	UNIDAD
CANAL TRANSVERSAL P/GYPSUM 366 CM (FURR. CHANN)	¢1 124.52	UNIDAD
CANOA 600 CM PVC LISA	¢30 622.81	UNIDAD
CARTUCHO SILICÓN TRANSPARENTE P/PISTOLA	¢3 207.25	UNIDAD
CEMENTO GRIS ESTRUCTURAL 50 KG, TIPO1 MP AR	¢6 160.67	SACO
CENICERO CONCRETO	¢5 141.50	UNIDAD
CERRADURA O LLAVIN DOBLE PASO	¢13 785.23	UNIDAD
CERRADURA SIN LLAVE	¢22 930.31	UNIDAD
CINTA DE CARTON JUNTA GYPSUM 152.0 M	¢3 088.08	ROLLO
CINTA DE MALLA JUNTA GYPSUM 30.5 M	¢7 451.22	ROLLO
CLAVO 50 MM C/C	¢619.78	KG
CLAVO 63 MM C/C	¢517.81	KG
CLAVO ACERO 50 MM	¢17.03	UNIDAD
CLAVO ACERO NEGRO 31 MM	¢4.88	UNIDAD
CODO 45 X 100 PVC SANITARIO	¢4 031.27	UNIDAD
CODO 90 X 12 CPVC	¢309.63	UNIDAD
CODO 90 X 12 HG	¢231.11	UNIDAD
CODO 90 X 18 HG	¢328.15	UNIDAD
CODO 90 X 38 PVC SANITARIO	¢689.56	UNIDAD
CODO 90 X 50 PVC SANITARIO	¢1 034.52	UNIDAD
CODO 90 X 100 PVC SANITARIO	¢4 731.31	UNIDAD
CODO CANOA 90 X 50 PVC	¢903.74	UNIDAD
CODO LISO 90 X 18 PVC	¢245.28	UNIDAD
CODO ROSCADO 90 X 18 PVC	¢202.74	UNIDAD
CONDULETA BOTAGUAS 38 MM	¢1 779.75	UNIDAD
CONDULETA BOTAGUAS 50 MM	¢2 966.25	UNIDAD
CONECTOR 12 MM CONDUIT EMT	¢71.19	UNIDAD
CONECTOR 12 MM CONDUIT EMT BIEX	¢292.61	UNIDAD
CONECTOR 18 MM CONDUIT EMT	¢153.10	UNIDAD
CONECTOR 50 MM CONDUIT EMT	¢754.11	UNIDAD
CUARTO REDONDO 25 MM LAUREL	¢371.60	METRO
CURVA 12 MM CONDUIT PVC	¢164.35	UNIDAD
CURVA 18 MM CONDUIT PVC	¢235.98	UNIDAD
CURVA 50 MM CONDUIT PVC	¢1 859.81	UNIDAD

Fuente: Lógica Tropical (<http://www.logicatropical.net/listacr.html>)

Anexo I. Continuación

DESAGUE BAÑO CROMADO 50 MM C/REGISTRO	¢5 318.52	UNIDAD
DESAGUE FREGADERO 38 MM DOBLE C/SIFON	¢6 533.96	UNIDAD
DESAGUE FREGADERO GRANDE CON COL.PLASTICO	¢1 031.28	UNIDAD
DESAGUE LAVATORIO	¢2 354.49	UNIDAD
DESAGUE PILA DE LAVADO	¢1 713.50	UNIDAD
DESAGUE TINA	¢16 636.67	UNIDAD
ESQUINERO CANOA PVC EXTERNO	¢3 679.59	UNIDAD
ESQUINERO CANOA PVC INTERNO	¢3 509.37	UNIDAD
ESTOPA O MECHA CORRIENTE	¢2 335.44	KG
FLANGER PARA INODORO 100 X 100 MM PVC	¢2 740.25	UNIDAD
FREGADERO INOXIDABLE 50 X 180 CM	¢80 353.71	UNIDAD
GAZA CANOA PVC	¢794.56	UNIDAD
INODORO BLANCO	¢107 529.96	UNIDAD
INODORO COLOR	¢184 743.68	UNIDAD
INTERRUPTOR TERMO.(BREAKER) 1P/ 15 A	¢8 396.18	UNIDAD
INTERRUPTOR TERMO.(BREAKER) 1P/ 20 A	¢6 486.20	UNIDAD
INTERRUPTOR TERMO.(BREAKER) 1P/ 30 A	¢9 367.95	UNIDAD
INTERRUPTOR TERMO.(BREAKER) 1P/ 40 A	¢10 998.13	UNIDAD
INTERRUPTOR TERMO.(BREAKER) 2P/ 30 A	¢20 435.09	UNIDAD
INTERRUPTOR TERMO.(BREAKER) 2P/ 40 A	¢24 082.74	UNIDAD
INTERRUPTOR TERMO.(BREAKER) 2P/ 50 A	¢24 124.97	UNIDAD
INTERRUPTOR TERMO.(BREAKER) 2P/ 70 A	¢25 563.84	UNIDAD
ITERRUPTOR ENTRADA 2 POLOS 60 AMPERIOS	¢4 088.30	UNIDAD
ITERRUPTOR ENTRADA 2 POLOS 100 AMPERIOS	¢8 473.58	UNIDAD
LAMINA P/GYPSUM 122 X 244 CM X 9 MM	¢7 449.70	UNIDAD
LAMINA P/GYPSUM 122 X 244 CM X 12 MM	¢3 955.00	UNIDAD
LAMINA P/GYPSUM 122 X 244 CM X 12 MM EXTERIOR	¢16 677.58	UNIDAD
LAMINA P/GYPSUM 122 X 244 CM X 12 MM TIPO DUROCK	¢16 947.67	UNIDAD
LAMINA TECHO HG #26 ONDULADA 81 X 183 CM	¢5 069.68	UNIDAD
LAMINA TECHO HG #26 ONDULADA 81 X 244 CM	¢6 874.66	UNIDAD
LAMINA TECHO HG #26 ONDULADA 81 X 305 CM	¢9 201.15	UNIDAD
LAMINA TECHO HG #26 RECT ESM 1 CARA 107 X 183 CM	¢7 177.96	UNIDAD
LAMINA TECHO HG #26 RECT ESM 1 CARA 107 X 244 CM	¢9 617.74	UNIDAD
LAMINA TECHO HG #26 RECT ESM 1 CARA 107 X 305 CM	¢13 909.76	UNIDAD
LAMINA TECHO HG #26 RECT ESM 1 CARA 107 X 366 CM	¢15 459.43	UNIDAD
LAMINA TECHO HG #28 ONDULADA 81 X 366 CM	¢6 652.75	UNIDAD
LASTRE TOBACAL	¢15 759.13	M3
LAUREL 12 X 25 C/C (BATIENTE)	¢228.38	METRO

Fuente: Lógica Tropical (<http://www.logicatropical.net/listacr.html>)

Anexo I. Continuación

LAUREL 25 X 100 C/C (MARCO)	¢1 197.29	METRO
LAVATORIO BLANCO	¢66 054.36	UNIDAD
LAVATORIO COLOR	¢46 793.98	UNIDAD
MANGUERA JARDIN 30.0 METROS	¢35 704.56	UNIDAD
MASILLA P/GYPSUM (28 M2)	¢10 406.12	19 LIT
NIPLE 12 X 38 MM HG	¢96.62	UNIDAD
NIPLE 12 X 75 MM HG CROMADO	¢354.26	UNIDAD
NIPLE 12 X 100 MM HG CROMADO	¢523.33	UNIDAD
NIPLE 12 X 150 MM HG CROMADO	¢772.92	UNIDAD
NIPLE 12 X 200 MM HG	¢402.56	UNIDAD
NIPLE 12 X 250 MM HG	¢483.08	UNIDAD
NIPLE 12 X 400 MM HG	¢749.71	UNIDAD
NIPLE 18 X 38 MM HG	¢185.18	UNIDAD
PASTILLA APAGADOR 1 VIA	¢3 097.64	UNIDAD
PASTILLA APAGADOR 3 VIAS	¢4 964.15	UNIDAD
PASTILLA TOMA POLARIZADO	¢2 020.61	UNIDAD
PASTILLA TOMA TELEFONO RJ11	¢1 715.42	UNIDAD
PEGAMENTO CPVC 120 ML AGUA CALIENTE	¢3 635.21	UNIDAD
PERFIL VERTICAL P/GYPSUM 63 MM X 244 CM (STUD)	¢1 124.70	UNIDAD
PERFIL #25 HORIZ P/GYPSUM 91 MM X 305 CM (TRACK)	¢1 209.05	UNIDAD
PERFIL RT-3 #13, 5 X 16 CM X 2.3 MM (3/32)	¢15 725.83	UNIDAD
PERFIL RT-3 #16, 5 X 16 CM X 1.6 MM (1/16)	¢8 332.54	UNIDAD
PIEDRA BRUTA	¢18 821.37	M3
PIEDRA CUARTILLA	¢19 951.26	M3
PILA LAVADO BATEA IZQUIERDA	¢35 329.45	UNIDAD
PINTURA ACRILICA	¢71 027.28	19 LIT
PINTURA ACRILICA	¢18 681.79	3.8LIT
PINTURA ANTICORROSIVA	¢30 322.99	3.8LIT
PISO CERAMICA NACIONAL LISO	¢6 135.50	M2
PLACA METALICA 1 HUECO	¢2 108.21	UNIDAD
PLACA METALICA 2 HUECOS	¢2 162.65	UNIDAD
PLACA METALICA 3 HUECOS	¢3 809.90	UNIDAD
PLAFON PLASTICO	¢546.42	UNIDAD
PLATINA 3.1 X 38 MM X 6 METROS	¢3 209.89	UNIDAD
PUERTA 80 X 210 SOLIDA	¢78 248.78	UNIDAD
PUERTA 90 X 210 SOLIDA	¢99 649.76	UNIDAD
REDUCCION 18 X 12 MM HG	¢261.03	UNIDAD

Fuente: Lógica Tropical (<http://www.logicatropical.net/listacr.html>)

Anexo I. Continuación

REDUCCION LISA 18 X 12 MM PVC	¢146.57	UNIDAD
REDUCCION LISA 50 X 38 MM PVC SANITARIO	¢1 175.69	UNIDAD
REDUCCION LISA 100 X 50 MM PVC SANITARIO	¢3 038.60	UNIDAD
REGLA 25 X 75 S/C SEMIDURA	¢444.75	METRO
RODAPIE 12 X 75 MM LAUREL	¢528.59	METRO
SEPARADOR PLASTICO PARA SISA 6 MM	¢332.79	BOLSA
SIFON DE PARED 38 MM PVC	¢819.47	UNIDAD
SOLDADURA E-6013 2.3 MM 3/32	¢3 575.61	KG
TAPA CANOA PVC	¢1 541.60	PAR
TAPA REDONDA EMT	¢95.42	UNIDAD
TAPON HEMBRA LISO 18 MM PVC	¢122.94	UNIDAD
TEE 18 MM HG	¢425.11	UNIDAD
TEE 38 MM PVC SANITARIO	¢1 278.32	UNIDAD
TEE 50 MM PVC SANITARIO	¢1 513.88	UNIDAD
TEE 12 MM CPVC	¢406.95	UNIDAD
TEE LISA 18 MM PVC	¢263.23	UNIDAD
TOMA 50 AMPERIOS	¢2 977.86	UNIDAD
TORNILLO P/FLANGER INODORO	¢234.27	UNIDAD
TORNILLO P/GYPSUM 25 MM PUNTA BROCA	¢3.87	UNIDAD
TORNILLO P/GYPSUM 50 MM PUNTA BROCA	¢7.17	UNIDAD
TORNILLO P/GYPSUM 50 MM PUNTA CORRIENTE	¢6.05	UNIDAD
TUBO 12 MM CONDUIT EMT BIEX	¢567.58	METRO
TUBO 12 MM CONDUIT PVC	¢867.75	UNIDAD
TUBO 12 MM CPVC	¢7 551.41	UNIDAD
TUBO 12 MM PVC SCH-40	¢3 924.48	UNIDAD
TUBO 18 MM CONDUIT PVC	¢1 100.89	UNIDAD
TUBO 18 MM CPVC	¢12 503.00	UNIDAD
TUBO 18 MM PVC SCH-40	¢6 768.47	UNIDAD
TUBO 38 MM CONDUIT PVC	¢3 367.86	UNIDAD
TUBO 38 MM PVC SDR-41 SANITARIO	¢6 096.36	UNIDAD
TUBO 50 MM CONDUIT EMT	¢4 873.13	UNIDAD
TUBO 50 MM CONDUIT PVC	¢6 017.02	UNIDAD
TUBO 50 MM PVC SDR-41 SANITARIO	¢8 744.10	UNIDAD
TUBO 75 MM PVC SDR-32.5	¢22 239.21	UNIDAD
TUBO 100 MM PVC SDR-32.5	¢36 598.68	UNIDAD
TUBO 100 MM PVC SDR-41 SANITARIO	¢28 391.35	UNIDAD
TUBO ABASTO PVC 12 MM X 12 MM	¢425.89	UNIDAD
TUBO ESTRUCTURAL 50 x 50 x 1.80MM x 600 CM	¢8 442.67	UNIDAD

Fuente: Lógica Tropical (<http://www.logicatropical.net/listacr.html>)

Anexo I. Continuación

TUBO ESTRUCTURAL 50 x 50 x 2.38MM x 600 CM	¢12 630.17	UNIDAD
TUBO ESTRUCTURAL 72 x 72 x 1.80MM x 600 CM	¢12 157.32	UNIDAD
TUBO ESTRUCTURAL 72 x 72 x 2.38MM x 600 CM	¢14 296.97	UNIDAD
TUBO FLUORESCENTE 20 VATIOS	¢677.81	UNIDAD
TUBO FLUORESCENTE 30 VATIOS	¢2 789.86	UNIDAD
TUBO PVC PERFORADO 115 MM X 600 CM P/DRENAJE	¢20 006.66	UNIDAD
UNION 12 MM CONDUIT PVC	¢87.27	UNIDAD
UNION 12 MM HG CROMADA	¢499.18	UNIDAD
UNION 18 MM CONDUIT PVC	¢174.51	UNIDAD
UNION 38 MM CONDUIT PVC	¢423.97	UNIDAD
UNION 50 MM CONDUIT PVC	¢643.92	UNIDAD
UNION CANOA PVC	¢851.04	UNIDAD
UNION DE REPARACION 18 MM PVC	¢2 388.89	UNIDAD
VALVULA O LLAVE COMPUERTA 12 MM	¢3 930.63	UNIDAD
VALVULA O LLAVE DE CHORRO 12 MM HG	¢2 546.11	UNIDAD
VALVULA O LLAVE DE CONTROL A PARED 12 X 9 MM	¢1 883.25	UNIDAD
VALVULA O LLAVE DE CONTROL A PARED 12 X 12 MM	¢3 322.20	UNIDAD
VALVULA O LLAVE DE PASO 12 MM HG	¢2 960.58	UNIDAD
VALVULA O LLAVE TIPO CHECK 12 MM	¢11 328.47	UNIDAD
VARILLA #2 CORRUGADA GRADO 40	¢482.00	UNIDAD
VARILLA #3 CORRUGADA GRADO 40	¢1 267.73	UNIDAD
VARILLA #4 CORRUGADA GRADO 40	¢2 333.97	UNIDAD
VARILLA #5 CORRUGADA GRADO 40	¢4 022.39	UNIDAD
VARILLA TIERRA COOPERWELL 120 CM X 12 MM C/GAZA	¢3 988.22	UNIDAD
VARILLA TIERRA COOPERWELL 150 CM X 12 MM C/GAZA	¢4 069.30	UNIDAD
VARILLA TIERRA COOPERWELL 240 CM X 18 MM C/GAZA	¢5 984.20	UNIDAD
YEE (GRIEGA) 31 MM PVC SANITARIO	¢2 221.21	UNIDAD
YEE (GRIEGA) 38 MM PVC SANITARIO	¢2 044.26	UNIDAD
YEE (GRIEGA) 50 MM PVC SANITARIO	¢1 859.10	UNIDAD
YEE (GRIEGA) 75 MM PVC SANITARIO	¢5 080.14	UNIDAD
YEE (GRIEGA) 100 MM PVC SANITARIO	¢6 644.29	UNIDAD

Fuente: Lógica Tropical (<http://www.logicatropical.net/listacr.html>)

Anexo J. Valores límite de COV para productos según LEED

Regulación	Producto	Contenido de VOC permitido
		(g/l)
SCAQMD Rule 1113	Bond breakers	350
	Clear wood finishes - Varnish	275
	Clear wood finishes - Sanding sealers	275
	Clear wood finishes - Lacquer	275
	Colorant - Architectural coatings, excluding IM coatings	50
	Colorant - Solvent-based IM	600
	Colorant - Waterborne IM	50
	Concrete - Curing compounds	100
	Concrete - Curing compounds for roadways and bridges	350
	Concrete surface retarder	50
	Driveway sealer	50
	Dry-fog coatings	50
	Faux finishing coatings - Clear topcoat	100
	Faux finishing coatings - Decorative coatings	350
	Faux finishing coatings - Glazes	350
	Faux finishing coatings - Japan	350
	Faux finishing coatings - Trowel applied coatings	50
	Fire-proofing coatings	150
	Flats	50
	Floor coatings	50
	Form release compound	100
	Graphic arts (sign) coatings	150
	Industrial maintenance coatings	100
	Industrial maintenance coatings - High temperature IM coatings	420
	Industrial maintenance coatings - Non-sacrificial anti-graffiti coatings	100
	Industrial maintenance coatings - Zinc-rich IM primers	100
	Magnesite cement coatings	450
	Mastic coatings	100
	Metallic pigmented coatings	150
	Multi-Color coatings	250
Nonflat coatings	50	
Pre-treatment wash primers	420	
Primers, sealers, and undercoaters	100	

Anexo J. Continuación

SCAQMD Rule 1113	Reactive penetrating sealers	350
	Recycled coatings	250
	Roof coatings	50
	Roof coatings, aluminum	100
	Roof primers, bituminous	350
	Rust preventative coatings	100
	Stone consolidant	450
	Sacrificial anti-graffiti coatings	50
	Shellac - Clear	730
	Shellac - Pigmented	550
	Specialty primers	100
	Stains	100
	Stains, interior	250
	Swimming pool coatings - Repair	340
	Swimming pool coatings - Other	340
	Traffic coatings	100
	Waterproofing sealers	100
	Waterproofing concrete/masonry sealers	100
	Wood preservatives	350
	Low solids coatings	120
SCAQMD Rule 1168	-	-
	Indoor carpet adhesives	50
	Carpet pad adhesives	50
	Outdoor carpet adhesives	150
	Wood flooring adhesive	100
	Rubber floor adhesives	60
	Subfloor adhesives	50
	Ceramic tile adhesives	65
	VCT and asphalt tile adhesives	50
	Dry wall and panel adhesives	50
	Cove base adhesives	50
	Multipurpose construction adhesives	70
	Structural glazing adhesives	100
	Single ply roof membrane adhesives	250
	-	-
	PVC welding	510
	CPVC welding	490
ABS welding	325	

Anexo J. Continuación

SCAQMD Rule 1168	Plastic cement welding	250
	Adhesive primer for plastic	550
	Computer diskette manufacturing	350
	Contact adhesive	80
	Special purpose contact adhesive	250
	Tire retread	100
	Adhesive primer for traffic marking tape	150
	Structural wood member adhesive	140
	Sheet applied rubber lining operations speciality	850
	Top and trim adhesive	250
	-	-
	Metal to metal substrate-specific adhesives	30
	Plastic foam substrate-specific adhesives	50
	Porous material (except wood) substrate-specific adhesives	50
	Wood substrate-specific adhesives	30
	Fiberglass substrate-specific adhesives	80
	-	-
	Architectural sealant	250
	Marine deck sealant	760
	Nonmembrane roof sealant	300
	Roadway sealant	250
	Single-ply roof membrane sealant	450
	Other sealant	420
	-	-
	Architectural non-porous sealant primer	250
	Architectural porous sealant primer	775
	Modified bituminous sealant primer	500
	Marine deck sealant primer	760
	Other sealant primer	750
	-	-
Other adhesives, adhesive bonding primers, adhesive primers, or any other primers	250	

Anexo J. Continuación

European Decopaint Directive (2004/42/EC)	Interior matt walls and ceilings (Gloss <25 at 60°) - WB	30
	Interior matt walls and ceilings (Gloss <25 at 60°) - SB	30
	Interior glossy walls and ceilings (Gloss >25 at 60°) - WB	100
	Interior glossy walls and ceilings (Gloss >25 at 60°) - SB	100
	Exterior walls of mineral substrate - WB	40
	Exterior walls of mineral substrate - SB	430
	Interior/exterior trim and cladding paints for wood and metal – WB	130
	Interior/exterior trim and cladding paints for wood and metal – SB	300
	Interior/exterior trim varnishes and woodstains, including opaque woodstains - WB	130
	Interior/exterior trim varnishes and woodstains, including opaque woodstains - SB	400
	Interior and exterior minimal build woodstains - WB	130
	Interior and exterior minimal build woodstains - SB	700
	Primers – WB	30
	Primers – SB	350
	Binding primers - WB	30
	Binding primers - SB	750
	One-pack performance coatings - WB	140
	One-pack performance coatings - SB	500
	Two-pack reactive performance coatings for specific end use such as floors - WB	140
	Two-pack reactive performance coatings for specific end use such as floors - SB	500
	Multi-coloured coatings - WB	100
	Multi-coloured coatings - SB	100
	Decorative effect coatings - WB	200
Decorative effect coatings - SB	200	
California Air Resources Board (CARB) 2007	Flat coatings	50
	Nonflat coatings	100
	Nonflat - High gloss coatings	150
	Aluminum roof coatings	400
	Basement specialty coatings	400
	Bituminous roof coatings	50
	Bituminous roof primers	350
	Bond breakers	350
	Concrete curing compounds	350
	Concrete/Masonry sealers	100

Anexo J. Continuación

California Air Resources Board (CARB) 2007	Driveway sealers	50
	Dry-fog coatings	150
	Faux finishing coatings	350
	Fire resistive coatings	350
	Floor coatings	100
	Form-release compounds	250
	Graphic arts coatings (sign paints)	500
	High temperature coatings	420
	Industrial maintenance coatings	250
	Low solids coatings	120
	Magnesite cement coatings	450
	Mastic texture coatings	100
	Metallic pigmented coatings	500
	Multi-color coatings	250
	Pre-treatment wash primers	420
	Primers, sealers, and undercoaters	100
	Reactive penetrating sealers	350
	Recycled coatings	250
	Roof coatings	50
	Rust preventative coatings	250
	Shellac - Clear	730
	Shellac - Opaque	550
	Specialty primers, sealers, and undercoaters	100
	Stains	250
	Stone consolidants	450
	Swimming pool coatings	340
	Traffic marking coatings	100
	Tub and tile refinish coatings	420
	Waterproofing membranes	250
	Wood coatings	275
Wood preservatives	350	
Zinc-rich primers	340	

Anexo J. Continuación

Hong Kong Air Pollution Control (VOC) Regulation	Aluminium roof coatings	250
	Below-ground wood preservatives	350
	Bond breakers	350
	Clear brushing lacquers	650
	Clear wood finishes (sanding sealers)	150
	Concrete curing compounds	350
	Dry-fog coatings	400
	Fire-proofing exterior coatings	350
	Graphic arts (sign) coatings	500
	Interior stains	250
	Magnesite cement coatings	450
	Mastic coatings	300
	Pigmented lacquers	275
	Recycled coatings	250
	Roof coatings (exposed)	50
	Roof coatings (non-exposed)	250
	Shellacs (clear)	730
	Shellacs (pigmented)	550
	Specialty primers	350
	Stains	100
	Swimming pool repair coatings	340
	Swimming pool coatings (other)	340
	Waterproofing concrete or masonry sealers	400
	Wood preservatives (other)	350
	Fire-retardant coatings (clear)	650
	Flat coatings	50
	Granite look-alike coatings or textured undercoaters	100
	Japans or faux finishing coatings	350
	Multi-colour coatings	250
	Non-flat coatings	150
	Roof primers (bituminous)	350
	Clear wood finishes (lacquers)	550
	Clear wood finishes (varnishes)	150
Extreme high-gloss coatings for metal	420	
Fire-retardant coatings (pigmented)	350	
Floor coatings	250	

Anexo J. Continuación

	High-temperature industrial maintenance coatings	420
	Industrial maintenance coatings	250
	Metallic pigmented coatings	500
	Pre-treatment coatings for metal	420
	Pre-treatment wash primers	420
	Primers, sealers and undercoaters	200
	Quick-dry enamels	250

	Quick-dry primers, sealers and undercoaters	200
	Rust preventative coatings	400
	Superior durability solvent-borne coatings for metal	420
	Traffic coatings	150
	Waterproofing sealers	250
	Zinc-rich industrial maintenance primers	250
	Low solids coatings	120
	Other architectural coatings	250
Canadian VOC Concentration Limits for Architectural Coatings	Antenna coating	530
	Thermoplastic rubber coating and mastic	550
	Metallic pigmented coating	500
	Bituminous roof primer	350
	Any other bituminous roof coating	300
	Non-bituminous roof coating	250
	Calcimine recoater	475
	Bond breaker	350
	Concrete curing compound	350
	Concrete surface retarder	780
	Form release compound	250
	Dry fog coating	400
	Extreme high durability coating	800
	Faux finish	350
	Fire resistant coating	350
	Fire retardant coating, clear	650
	Fire retardant coating, opaque	350
	Floor enamel	250
	Any other opaque floor coating for application to surfaces that may be subject to foot traffic	250
Flow coating	650	

Anexo J. Continuación

	Graphic arts coating	500
	Temperature-indicator safety coating	550
	Any other high-temperature coating	420
	Impacted immersion coating	780
	Any other industrial maintenance coating	340
	Shellac, clear	730
	Shellac, opaque	550
	Clear brushing lacquer	680
	Any other lacquer, including lacquer sanding sealers	550
	Any other sanding sealer	350
	Conversion varnish	725

Canadian VOC Concentration Limits for Architectural Coatings	Conjugated oil varnish for sealing wood	450
	Any other varnish	350
	Low solids coating	120
	Mastic texture coating	300
	Multi-coloured coating	250
	Nuclear coating	450
	Pre-treatment wash primer	420
	Specialty primer, sealer or undercoater	350
	Waterproofing sealer for concrete or masonry	400
	Any other waterproofing sealer	250
	Any other primer, sealer or undercoater	200
	Quick-dry enamel	250
	Recycled coating	350
	Rust preventive coating	400
	Interior wiping stain	250
	Exterior wood stain, clear or semi-transparent	250
	Any other stain, including lacquer stains	250
	Swimming pool coating	340
	Traffic marking coating	450
	Any other flat coating	100
Any other non-flat coating	150	
Any other high-gloss coating	250	

Fuente: USGBC (2012)

Anexo K. Valores de energía incorporada para algunos material de construcción

Anexo K 1. Valores de energía según Lawson (1996)

MATERIAL	PER EMBODIED ENERGY MJ/kg
Kiln dried sawn softwood	3.4
Kiln dried sawn hardwood	2.0
Air dried sawn hardwood	0.5
Hardboard	24.2
Particleboard	8.0
MDF	11.3
Plywood	10.4
Glue-laminated timber	11.0
Laminated veneer lumber	11.0
Plastics – general	90
PVC	80.0
Synthetic rubber	110.0
Acrylic paint	61.5
Stabilised earth	0.7
Imported dimension granite	13.9
Local dimension granite	5.9
Gypsum plaster	2.9
Plasterboard	4.4
Fibre cement	4.8*
Cement	5.6
In situ Concrete	1.9
Precast steam-cured concrete	2.0
Precast tilt-up concrete	1.9
Clay bricks	2.5
Concrete blocks	1.5
AAC	3.6
Glass	12.7
Aluminium	170
Copper	100
Galvanised steel	38

Fuente: Lawson (1996)

Anexo K 2. Valores de energía incorporada según *Inventory of Carbon & Energy* (2008) de la Universidad de Bath

Materials	Embodied Energy & Carbon Data	
	EE - MJ/kg	EC - kgCO2/Kg
Aggregate		
General	0.1	0.005
Aluminium		
General	155	8.24
Virgin	218	11.46
Recycled	28.8	1.69
Cast Products		
General	159	8.28
Virgin	226	11.70
Recycled	24.5	1.35
Extruded		
General	154	8.16
Virgin	214	11.20
Recycled	34.1	1.98
Rolled		
General	155	8.26
Virgin	217	11.50
Recycled	27.8	1.67
Asphalt		
General	2.60	0.045
Road & Pavement		
EXAMPLE: Road	2,672 MJ/Sqm	134 KgCO2/Sqm
Bitumen		
General	47	0.48
Brass		
General	44.00	2.42 (?)
Virgin	80.00	4.39 (?)
Recycled	20.00	1.1 (?)
Bricks		
General (Common Brick)	3.00	0.22
EXAMPLE: Single Brick	8.4 MJ per brick	0.62 kgCO2 per brick
Facing Bricks		
EXAMPLE: Single Facing Brick	23 MJ per brick	1.46 kgCO2 per brick
Limestone	0.85	?

Anexo K 2. Continuación

Bronze						
General	77.00			4.1 (?)		
Carpet						
General Carpet	74.40			3.89		
Felt (Hair and Jute) Underlay	18.60			0.96		
Nylon	67.9 to 149			3.55 to 7.31		
Polyethylterephthalate (PET)	106.50			5.55		
Polypropylene	95.40			5.03		
Polyurethane	72.10			3.76		
Rubber	67.5 to 140			3.91 to 8.11		
Saturated Felt Underlay (impregnated with Asphalt or tar)	31.70			1.70		
Wool	106.00			5.48		
Cement						
General (Typical)	4.6			0.83		
Fibre Cement	10.90			2.11		
Mortar (1:3 cement:sand mix)	1.40			0.213		
Mortar (1:4)	1.21			0.177		
Mortar (1:6)	0.99			0.136		
Mortar (1:½:4½ Cement:Lime:Sand mix)	1.37			0.196		
Mortar (1:1:6 Cement:Lime:Sand mix)	1.18			0.163		
Mortar (1:2:9 Cement:Lime:Sand mix)	1.09			0.143		
Soil-Cement	0.85			0.14		
% Cementitious Replacement	0%	25%	50%	0%	25%	50%
General (with Fly Ash Replacement)	4.6	3.52	2.43	0.83	0.62	0.42
General (with Blast Furnace Slag Replacement)	4.6	3.81	3.01	0.83	0.64	0.45

Anexo K 2. Continuación

Materials	Embodied Energy & Carbon Data	
	EE - MJ/kg	EC - kgCO ₂ /Kg
Ceramics		
General	10.00	0.65
Fittings	20.00	1.05
Refractory products	5.50	0.51
Sanitary Products	29.00	1.48
Tile	9.00	0.59
Clay		
General (Simple Baked Products)	3.00	0.22
Tile	6.50	0.46
Vitrified clay pipe DN 100 & DN 150	6.19	0.45
Vitrified clay pipe DN 200 & DN 300	7.03	0.49
Vitrified clay pipe DN 500	7.86	0.53
Concrete		
General	0.95	0.130
NOMINAL PROPORTIONS METHOD (Volume), Proportions from BS 8500:2006 (ICE Ce		
1:1:2 Cement:Sand:Aggregate	1.39	0.209
1:1.5:3	1.11	0.159
1:2:4	0.95	0.129
1:2.5:5	0.84	0.109
1:3:6	0.77	0.096
1:4:8	0.69	0.080
REINFORCED CONCRETE		
For reinforcement add to selected coefficient for each 25kg rebar	0.26	0.018
EXAMPLE: Reinforced RC30 (below)	2.12 (1.08 + 0.26 * 4)	0.241 (0.153 + 0.018 * 4)
CONCRETE BLOCKS (ICE CMC Model Value		
Block - 8 MPa Compressive Strength	0.60	0.061
Block - 10 MPa	0.67	0.074
Block -12 MPa	0.71	0.080
Block -13 MPa	0.81	0.098
Autoclaved Aerated Blocks (AAC's)	3.50	0.28 to 0.375
MISCELLANEOUS VALUES		
Prefabricated Concrete	2.00	0.215
Fibre-Reinforced	7.75	0.450
Concrete Road & Pavement	1.24	0.127
EXAMPLE Road	2,085 MJ/Sqm	187.7 KgCO ₂ /Sqm
Wood-Wool Reinforced	2.08	-

Anexo K 2. Continuación

Materials	Embodied Energy & Carbon Data	
	EE - MJ/kg	EC - kgCO2/Kg
Copper		
General	40 to 55	2.19 to 3.83 (?)
Virgin	70 (?)	3.83 (?)
Recycled from high grade scrap	17.5 (?)	0.96 (?)
Recycled from low grade scrap	50 (?)	2.75 (?)
Glass		
General	15.00	0.85
Fibreglass (Glasswool)	28.00	1.53
Toughened	23.50	1.27
Insulation		
General Insulation	45.00	1.86
Cellular Glass	27.00	-
Cellulose	0.94 to 3.3	-
Cork	4.00	0.19
Fibreglass (Glasswool)	28.00	1.35
Flax (Insulation)	39.50	1.70
Mineral wool	16.60	1.20
Rockwool (stonewool)	16.80	1.05
Paper wool	20.17	0.63
Polystyrene	See Plastics	See Plastics
Polyurethane	See Plastics	See Plastics
Woodwool (loose)	10.80	-
Woodwool (Board)	20.00	0.98
Wool (Recycled)	20.90	-
Iron		
General	25.00	1.91 (?)

Anexo K 2. Continuación

Iron		
General	25.00	1.91 (?)
Lead		
General	25.00	1.33
Virgin	49.00	2.61
Recycled	10.00	0.53
Virgin If produced with zinc	13.6 to 23.6	0.72 to 1.25
Lime		
General	5.30	0.74
Linoleum		
General	25.00	1.21
Miscellaneous		
Asbestos	7.40	-
Calcium Silicate Sheet	2.00	0.13
Chromium	83	5.39
Cotton, Padding	27.10	1.28
Cotton, Fabric	143	6.78
Damp Proof Course/Membrane	134	4.20
Felt General	36	-
Flax	33.50	1.70
Fly Ash	0.10	0.01
Grit	0.12	0.01
Carpet Grout	30.80	-
Glass Reinforced Plastic - GRP - Fibreglass	100	8.10
Lithium	853	5.30
Mandolite	63	1.40
Mineral Fibre Tile (Roofing)	37	2.70
Manganese	52	3.50
Mercury	87	4.94
Molybdenum	378	30.30
Nickel	164	12.40
Perlite - Expanded	10.00	0.52
Perlite - Natural	0.66	0.03
Quartz powder	0.85	0.02
Shingle	11.30	0.30
Silicon	2355	-
Slag (GGBS)	1.33	0.07
Silver	128.20	6.31
Straw	0.24	0.01
Terrazzo Tiles	1.40	0.12
Vanadium	3710.00	228.00
Vermiculite - Expanded	7.20	0.52

Anexo K 2. Continuación

Materials	Embodied Energy & Carbon Data	
	EE - MJ/kg	EC - kgCO2/Kg
Water	0.20	-
Wax	52.00	-
Wood stain/Varnish	50.00	5.35
General Wool	3.00	0.15
Yttrium	1470	84.00
Zirconium	1610	97.20
Paint		
General	68.00	3.56
EXAMPLE: Single Coat	10.2 MJ/Sqm	0.53 kgCO2/Sqm
EXAMPLE: Double Coat	20.4 MJ/Sqm	1.06 kgCO2/Sqm
EXAMPLE: Triple Coat	30.6 MJ/Sqm	1.60 kgCO2/Sqm
Paper		
Paperboard (General for construction use)	24.80	1.32
Fine Paper	28.20	1.50
Wallpaper	36.40	1.93
Plaster		
General (Gypsum)	1.80	0.12
Plasterboard	6.75	0.38
Plastics		
General	80.50	2.53
ABS	95.30	3.10
General Polyethylene	83.10	1.94
High Density Polyethylene (HDPE)	76.70	1.60
HDPE Pipe	84.40	2.00
Low Density Polyethylene (LDPE)	78.10	1.70
LDPE Film	89.30	1.90
Nylon 6	120.50	5.50
Nylon 6,6	138.60	6.50
Polycarbonate	112.90	6.00
Polypropylene, Orientated Film	99.20	2.70
Polypropylene, Injection Moulding	115.10	3.90
Expanded Polystyrene	88.60	2.50
General Purpose Polystyrene	86.40	2.70
High Impact Polystyrene	87.40	2.80
Thermoformed Expanded Polystyrene	109.20	3.40
Polyurethane	72.10	3.00
PVC General	77.20	2.41
PVC Pipe	67.50	2.50
Calendered Sheet PVC	68.60	2.60
PVC Injection Moulding	95.10	2.20
UPVC Film	69.40	2.50

Anexo K 2. Continuación

Steel		
General (average of all steels)	24.40	1.77
Virgin	35.30	2.75
Recycled	9.50	0.43
Bar & rod	24.60	1.71
Virgin	36.40	2.68
Recycled	8.80	0.42
Engineering steel - Recycled	13.10	0.68
Pipe - Virgin	34.44	2.70
Recycled	Not Typical Production Route	
Plate - Virgin	48.40	3.19
Recycled	Not Typical Production Route	
Section	25.40	1.78
Virgin	36.80	2.78
Recycled	10.00	0.44
Sheet - Virgin	31.50	2.51
Recycled	Not Typical Production Route	
Sheet - Galvanised - Virgin	39.00	2.82
Wire - Virgin	36.00	2.83
Stainless	56.70	6.15
Stone		
Data on stone was difficult to select, with h		
General	1.00	0.056
Stone Gravel/Chippings	0.30	0.017
Granite	0.1 to 13.9 !	0.006 to 0.781
Limestone	0.30	0.017
Marble	2.00	0.112
Marble tile	3.33	0.187
Shale	0.03	0.002
Slate	0.1 to 1.0	0.006 to 0.056
Timber		
All timber values exclude the Calorific Value (CV) of w		
General	8.50	0.46
Glue Laminated timber	12.00	0.65 (?)
Hardboard	16.00	0.86
Laminated Veneer Lumber	9.50	0.51 (?)
MDF	11.00	0.59
Particle Board	9.50	0.51
Plywood	15.00	0.81
Sawn Hardwood	7.80	0.47
Sawn Softwood	7.40	0.45
Veneer Particleboard (Furniture)	23.00	1.24

Anexo K 2. Continuación

Rubber		
General	101.70	3.18
Synthetic rubber	120.00	4.02
Natural latex rubber	67.60	1.63
Sand		
General	0.10	0.005
Sealants and adhesives		
Epoxide Resin	139.30	5.91
Mastic Sealant	62.3 to 200	-
Melamine Resin	113.00	-
Phenol Formaldehyde	87 to 89.3	-
Urea Formaldehyde	40 to 78.2	1.3 to 2.26
Soil		
General (Rammed Soil)	0.45	0.023

Anexo K 2. Continuación

Steel		
General (average of all steels)	24.40	1.77
Virgin	35.30	2.75
Recycled	9.50	0.43
Bar & rod	24.60	1.71
Virgin	36.40	2.68
Recycled	8.80	0.42
Engineering steel - Recycled	13.10	0.68
Pipe - Virgin	34.44	2.70
Recycled	Not Typical Production Route	
Plate - Virgin	48.40	3.19
Recycled	Not Typical Production Route	
Section	25.40	1.78
Virgin	36.80	2.78
Recycled	10.00	0.44
Sheet - Virgin	31.50	2.51
Recycled	Not Typical Production Route	
Sheet - Galvanised - Virgin	39.00	2.82
Wire - Virgin	36.00	2.83
Stainless	56.70	6.15
Stone		
Data on stone was difficult to select, with		
General	1.00	0.056
Stone Gravel/Chippings	0.30	0.017
Granite	0.1 to 13.9 !	0.006 to 0.781
Limestone	0.30	0.017
Marble	2.00	0.112
Marble tile	3.33	0.187
Shale	0.03	0.002
Slate	0.1 to 1.0	0.006 to 0.056
Timber		
All timber values exclude the Calorific Value (CV) of w		
General	8.50	0.46
Glue Laminated timber	12.00	0.65 (?)
Hardboard	16.00	0.86
Laminated Veneer Lumber	9.50	0.51 (?)
MDF	11.00	0.59
Particle Board	9.50	0.51
Plywood	15.00	0.81
Sawn Hardwood	7.80	0.47
Sawn Softwood	7.40	0.45
Veneer Particleboard (Furniture)	23.00	1.24

Anexo K 2. Continuación

Tin		
Tin Coated Plate (Steel)	19.2 to 54.7	1.03 to 2.93
Tin	250.00	13.70
Titanium		
Virgin	361 to 745	-
Recycled	258.00	-
Vinyl Flooring		
General	65.64	2.29
Vinyl Composite Tiles (VCT)	13.70	-
Zinc		
General	61.90	3.31
Virgin	72.00	3.86
Recycled	9.00	0.48

Fuente: Inventory of Carbon & Energy (ICE), Universidad de Bath (2008)
 Disponible en: www.bath.ac.uk/mech-eng/ser/embodied/