

# Metodología para la selección de materiales según lineamiento LCA aplicada al diseño de alojamientos temporales en climas tropicales

## Methodology for the selection of materials according to LCA guidelines applied to the design of temporary housing in tropical climates

Sara Luciani M.\*

### Resumen

Con el fin de mitigar el impacto que causa la pérdida del hogar debido a los constantes eventos naturales, se propone el diseño de un sistema constructivo adecuado que permita el alojamiento temporal de los afectados. Para que el diseño sea integral se hace necesaria la selección de materiales a través de una metodología basada en los lineamientos LCA (Life Cycle Assessment) sobre el ciclo de vida de los materiales con categorías que denotan la importancia de estas según el componente de edificio como cimentación, estructura, envolvente y cubierta en relación con el tipo de edificación que aunque en este ejercicio de investigación se aplica al diseño de alojamientos temporales, puede ser replicado en el diseño de otro tipo de edificaciones. La selección de materiales se presenta como la base para una etapa posterior de simulaciones ambientales donde se proponen diversas configuraciones con los materiales de mejor desempeño con el fin de evaluar también el desempeño térmico y propender por minimizar el impacto ambiental.

### Palabras clave

Análisis de variables, alojamiento temporal, ciclo de vida, diseño sostenible, sistema constructivo, selección de materiales.

### Abstract

In order to mitigate the impact caused by the loss of home due to constant natural events, the design of a suitable construction system that allows the temporary housing of those affected is proposed. To complete the design, the selection of materials is necessary through a methodology based on the guidelines LCA (Life Cycle Assessment) on the life cycle of materials with categories indicating their importance depending on the building component such as foundation, structure, walls and cover in relation to the type of building that although this research exercise is applied to the design of temporary shelters can be replicated in the design of other types of buildings. The selection of materials is presented as the basis for a later stage of environmental simulations where different configurations with better performance materials are proposed in order to also evaluate the thermal performance and tend to minimize the environmental impact.

### Keywords

Analysis of variables, Temporary shelter, Life cycle, Sustainable design, construction system, selection of materials.

Fecha de recepción: 1 de julio de 2014

Fecha de aprobación: 6 de septiembre de 2014

\* Arquitecta, con Maestría en Gestión Urbana, investigadora de la Universidad Piloto de Colombia (Carrera 9ª No 45ª-44, tel: 3322900, Bogotá, Colombia), y becaria del programa jóvenes investigadores de Colciencias, Bogotá, Colombia, correo: sara-luciani@unipiloto.edu.co

## Introducción

En las etapas de desarrollo de este proyecto de investigación, que tiene como objetivo el diseño de un sistema constructivo adecuado para alojar temporalmente afectados por desastres naturales, se contemplaron hasta el momento tres etapas que incluyen un estudio de antecedente a partir del cual se precisan las determinantes de diseño, seguido de una etapa de diseño y un tercer momento de validación ambiental del sistema constructivo donde se definen los materiales y se analiza su desempeño en términos de confort.

En la primer etapa de revisión de antecedentes, se definió metodológicamente un estudio desde dos perspectivas; la primera desde las variables marco denominadas gestión, temporalidad, tecnología, complementados por las variables de cultura y territorio y la segunda desde lo arquitectónico analizando la forma y la función de las soluciones implementadas (Luciani, 2012) con el fin de conocer los aciertos y desaciertos en los procesos llevados a cabo en Colombia en las últimas tres décadas y subsanarlos en una nueva propuesta.

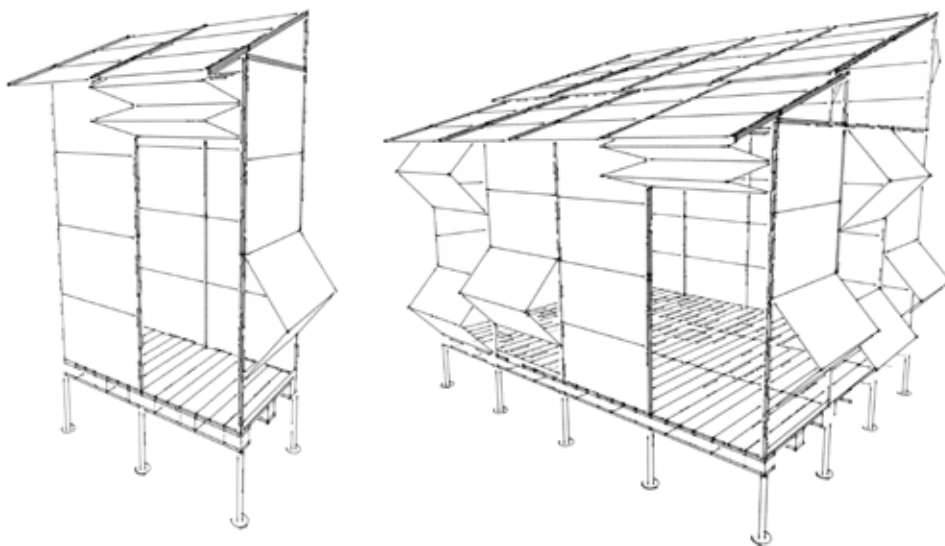
Así, la revisión de antecedentes, permitió identificar los requerimientos mínimos desde los factores de diseño, temporalidad y tecnología y los parámetros para el diseño integral del sistema contemplando

lo social, lo cultural, lo técnico y lo ambiental con miras a un proyecto sostenible.

Una vez definidos los parámetros para el diseño, se propuso un desarrollo a cuatro escalas partiendo de una unidad constructiva mínima con dimensiones de 1,20 x 2,40 y con capacidad para albergar a una persona; la segunda escala, el módulo básico, que resulta de la unión de 4 o más módulos constructivos con unas dimensiones de 3,60 x 4,80 y puede albergar de 4 a 6 personas aproximadamente. Las dimensiones de la unidad constructiva y el módulo básico, se precisaron según los requerimientos de ACNUR (2007), Norwegian Refugee Council (NRC) (2008) y The Sphere Project (2011), que estipula un área mínima de habitación de 3,5 m<sup>2</sup> por persona de espacio cubierto.

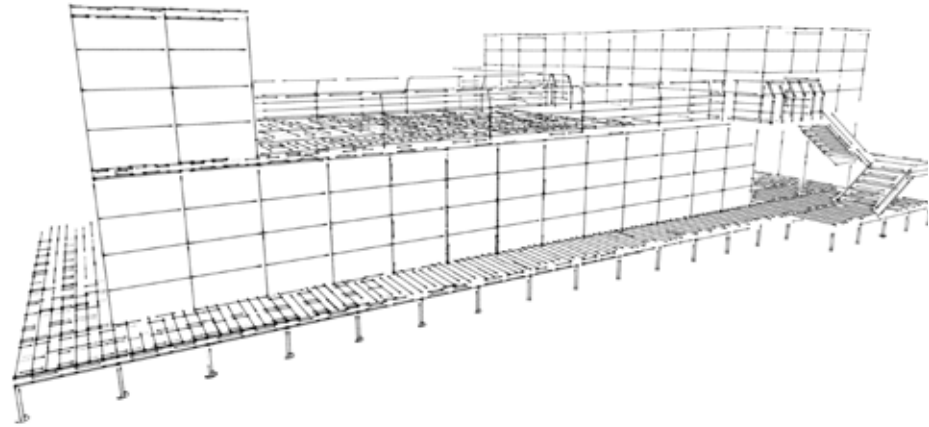
Asimismo, se diseñó un módulo de infraestructura, capaz de ofrecer los servicios básicos como cocina comunal, distribución de alimentos, baños y duchas comunales, salón comunal, y cuarto de basuras; este módulo se dimensionó para soportar 16 módulos de alojamiento temporal con una ocupación de 80 a 100 personas aproximadamente.

La última escala, corresponde a una unidad de agrupación compuesta por dos módulos de infraestructura y sus respectivos módulos de alojamiento temporal, unidad que puede ser replicable en el espacio con una configuración de tipo urbana.



**Figura 1.** Imagen módulo unidad constructiva mínima y modulo básico.

**Figura 2.** Imagen modulo de infraestructura.



No obstante, una vez definida la propuesta de diseño, se identificó que para el desarrollo tecnológico de este sistema era necesario realizar la selección de materiales teniendo en cuenta la sostenibilidad, el ciclo de vida y el desempeño térmico a través de simulaciones ambientales con el fin de minimizar el impacto en el lugar.

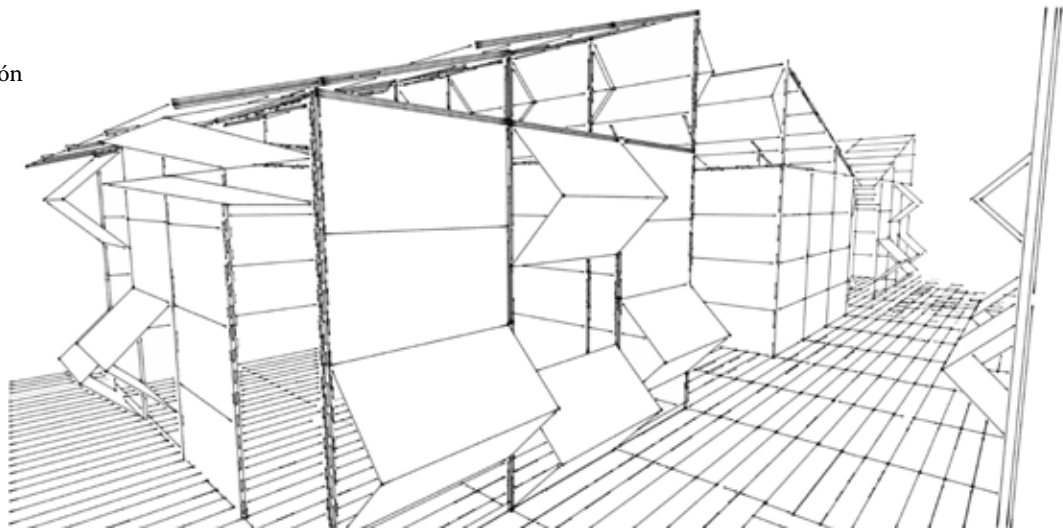
Así dicha selección de materiales se consolida como un punto crucial de esta etapa de investigación y de este artículo, en la medida en que los materiales pueden tener incidencias sobre la función, el uso y la operación del elementos a diseñar; y sobre los impactos ambientales y los costos (Jahan y Edwards, 2013); por tanto una decisión errónea puede ocasionar inconvenientes en términos de costos, desempeño térmico, impacto ambiental,

tiempos de ejecución, impacto psicológico, entre otros.

En este sentido se requiere un análisis riguroso o una metodología que permita la selección idónea de materiales para cada uno de los elementos que componen del sistema desde cimentación, estructura, envolvente y cubierta; puesto que como afirma Florez y Castro-Lacouture (2013) una apropiada selección de materiales puede ayudar a reducir la energía embebida en una edificación, las emisiones de dióxido de carbono, la energía empleada en el proceso de producción, el impacto ambiental en el ciclo de vida, el consumo de energía y el deterioro en la calidad del aire, entre otros.

Para dicha selección, se revisó bibliografía sobre metodologías de selección de materiales

**Figura 3.** Imagen unidad de agrupación a escala urbana.



propuestas por autores como Castro-Lacouture, Sefair, Flórez, y Medaglia (2009), Ashby, Cope y Cebon (2013), Abeysundara, Babel y Gheewala (2009); donde partir de tal revisión, se propuso entonces una metodología basada en la guía verde de Anderson, Shiers, y Steele (2009) en la cual por medio de matrices de evaluación y teniendo en cuenta los parámetros de análisis de ciclo de vida de los materiales se define variables con puntajes por cada elemento del sistema, sea envolvente, estructura, cimentación o cubierta, cuales son los materiales que tendrían mejor desempeño en relación con su rol en el sistema.

Del mismo modo, en el proceso en que se planteó la metodología expresada en este artículo, se llevó a cabo una revisión bibliográfica, donde se encontraron varios autores que dialogan sobre estrategias para la selección de materiales en el diseño de productos o edificios como Ashby, Bréchet, Cebon y Salvo (2004), Zander y Sandström (2012), Ribeiro, Peças, y Henriques (2013).

Así mismo, otros autores como Heijungs, Huppel, y Guinée (2010), Malmqvist, Glaumann, Scarpellini, Zabalza, Aranda, Llera y Díaz (2011), Giudice, La Rosa y Risitano (2005), Verbeeck y Hens (2010), Zabalza, Aranda y Scarpellini (2009), Poudelet, Chayer, Margni, Pellerin y Samson (2012), mencionan la importancia de la inserción de LCA o el LCA como una metodología a aplicar en las etapas iniciales del diseño de edificaciones en la búsqueda por minimizar el impacto ambiental.

Otros autores como Morales, Azzaro, Belaud, Pibouleau y Domenech (2012), Akadiri, Olomolaiye y Chinyio (2013), Peuportier, Thiers y Guiavarch (2013), por su parte, sugieren además de la inserción de LCA, el uso de software y BIM (Building Information Modeling) para la toma de decisiones y análisis multicriterio en el diseño de edificaciones.

Sin embargo y aunque estos ejercicios se usaron como punto de referencia en esta investigación, no se encontraron ejercicios similares enfocados al diseño de alojamientos temporales en climas tropicales y en contextos similares al colombiano.

## Metodología

Por otra parte, investigaciones como la desarrollada por Crawford, Manfield y McRobie (2005) con la organización [shelterproject.org](http://shelterproject.org) en asocio con la Universidad de Cambridge, sobre la evaluación de desempeño térmico aplicada a dos sistemas de alojamientos de emergencia específicos, en tres diversos climas, no tropicales y con características diversas al contexto colombiano; evidencian la importancia de un diseño adecuado enfocado al confort térmico propendiendo a su vez por la mitigación del impacto ambiental.

Por tanto, la metodología planteada para la selección de los materiales adecuados para alojamientos temporales se basó en la metodología empleada en la guía verde de Anderson, Shiers y Steele (2009), en la cual a través de perfiles ambientales definidos en la aplicación de evaluación de ciclo de vida (Life Cycle Assessment, LCA) plantearon un sistema de clasificación ambiental que permite comparar e identificar el desempeño ambiental en términos de impacto.

La metodología empleada en la guía verde de Anderson, Shiers y Steele (2009), tiene como finalidad analizar en términos de impacto ambiental cuáles materiales y componentes de construcción presentan mejor desempeño aplicado a seis tipos de edificaciones que incluyen edificaciones de oficinas, edificaciones educativas, edificaciones de salud, edificaciones comerciales, residenciales e industriales, donde se analizan también los diferentes componentes del edificio como cimentación, placa de entrepiso, cubiertas, muros, ventanas y aislamientos, entre otros, y así guiar a los diseñadores sobre la toma de decisiones hacia la reducción del impacto ambiental de los proyectos de construcción.

En dicha guía se usaron los lineamientos del LCA (Life Cycle Assessment) definido según Finnveden, Hauschild, Ekvall, Guinée, Heijungs, Hellweg, Koehler, Pennington y Suh (2009) y Ortiz, Castells y Sonnemann (2009) como, una herramienta para evaluar el potencial impacto ambiental y los

recursos usados a lo largo del ciclo de vida de un producto desde la adquisición de la materia prima hasta la fase de producción, uso, y gestión de los desechos.

El LCA aplicado a construcciones funciona como un método para predecir la capacidad de la edificación durante su vida útil incluyendo los momentos de extracción de materia prima, manufactura, construcción, operación, mantenimiento, reparación, reposición y demolición (Basbagill, Flager, Lepech, y Fischer (2013); además de estimar el impacto ambiental en términos de cambio climático, extracción de agua, extracción de recursos minerales, agotamiento de capa de ozono, toxicidad humana, ecotoxicidad de agua dulce, residuos nucleares, ecotoxicidad de la tierra, eliminación de residuos, agotamiento de combustible fósil, eutrofización, creación de ozono fotoquímico y acidificación (Rebitzer, Ekvall, Frischknecht, Hunkeler, Norris, Rydberg, Schmidt, Suh, Weidema, y Pennington (2004)

Además de estas trece categorías, los lineamientos de LCA incluyen cuestiones como costos, durabilidad, apariencia, cuestiones de control de desarrollo, edificabilidad, cuestiones funcionales y operativas, mantenimiento, disponibilidad, manufactura, transporte, montaje, reparación y reposición, demolición y manejo de residuos hasta el final de la vida útil, lineamientos que se tendrán en cuenta también en la elección de materiales para los alojamientos temporales.

Sin embargo cada uno de los lineamientos proyecta datos en unidades de medición distintas y además no tienen la misma importancia, por lo cual se requiere un sistema de normalización de datos y de ponderación, que en esta guía verde se definió como Ecopuntos donde mayor cantidad de puntos se refleja en mayor impacto ambiental.

No obstante el valioso trabajo y el aporte que significa esta guía verde para la facilitar la toma de decisiones en favor de reducir el impacto ambiental en las construcciones, no es aplicable en el contexto colombiano ya que los análisis de los criterios se basan en especificaciones y procesos europeos lo

que llevó a una adaptación aplicada a la selección de materiales en el diseño de alojamientos temporales.

La metodología propuesta en este proyecto de investigación para la selección de materiales, al igual que la guía verde de Anderson, Shiers y Steele (2009), tiene en cuenta los lineamientos de LCA, enfocado en las categorías definidas como, lugar de producción, facilidad de transporte, renovable, peso/densidad, reciclaje y reutilización, durabilidad, estabilidad térmica, conductividad, energía embebida, efecto isla de calor y uso, que tiene un peso en términos de porcentaje en correspondencia con la importancia de la categoría en relación con el componente del edificio que incluye cimentación, estructura, envolvente y cubierta.

Es importante mencionar que a diferencia de los Ecopuntos empleados por la guía verde, esta metodología emplea un puntaje que va de 1 a 5 donde 1 es el menor puntaje y 5 es el mayor, definiendo 5 como el óptimo desempeño del material en relación con el componente de edificio.

## Categorías de análisis

Al igual que las trece categorías basadas en los lineamientos de LCA seleccionadas en la guía verde, este proyecto define unas categorías a las cuales se le asignaron porcentajes en relación con la importancia en la definición del material del componente de edificio.

Se definieron 11 categorías teniendo en cuenta los lineamientos LCA denominadas lugar de producción, facilidad de transporte, renovable, peso/densidad, reciclaje y reutilización, durabilidad, estabilidad térmica, conductividad, energía embebida, efecto isla de calor y uso que varía según el componente de edificio.

La primera categoría denominada lugar de producción se relaciona con el sitio donde se produce el material, si se produce a escala local o es importado, en esta medida se prefiere la producción local ya que reduce el costo del material, los costos de transporte y se apoya la industria local, además de

reducir el tiempo al que se puede acceder al material. En la escala de calificación se otorgó el puntaje de 5 a la producción local y 1 a los materiales importados.

La segunda categoría se refiere a la facilidad de transporte y se considera importante para los alojamientos de emergencia en la medida en que se requieren soluciones inmediatas, es por esto que esta categoría se relaciona directamente con el volumen y la densidad, donde menor volumen y menor densidad sugeriría mayor facilidad de transporte.

Por tanto la escala de calificación de esta categoría establece un puntaje de 1 a los materiales que tienen alto volumen y alta densidad, 3 a los materiales que tienen alto volumen y baja densidad o los que tienen bajo volumen y alta densidad y 5 a los materiales que tienen bajo volumen y baja densidad.

La tercera categoría denominada renovable, hace referencia a si el material hace uso de los recursos naturales renovables o no renovables lo cual puede generar mayor o menor impacto ambiental, así mismo se tomaron en cuenta los materiales que se componen de recursos no renovables que existen con suficiente abundancia.

Así, la calificación para esta categoría establece un puntaje de 5 a los materiales que empleen recursos renovables, un puntaje de 3 a los materiales que empleen el uso de recursos no renovables que existen con abundancia y 1 a los materiales que emplean recursos no renovables ya que contribuyen al agotamiento de estos afectando a las generaciones venideras.

La cuarta categoría corresponde a peso / densidad; esta categoría se relaciona directamente con la facilidad de transporte donde se favorecen los materiales que tienen menor peso ya que se requiere mayor movilidad y facilidad para la manipulación de los materiales en la construcción del sistema pues se espera que la comunidad esté involucrada en la construcción de los alojamientos.

En cuanto a la calificación se establecieron rangos en unidades de kilogramo por metro cúbico (kg/

m<sup>3</sup>) donde se otorgó el puntaje de 5 a los materiales con densidad de 0 a 1000 kg/m<sup>3</sup>, el puntaje de 4 a los materiales con densidad de 1000 a 2000 kg/m<sup>3</sup>, el puntaje de 3 a los materiales con densidad de 2000 a 3000 kg/m<sup>3</sup>, el puntaje de 2 a los materiales con densidad de 3000 a 4000 kg/m<sup>3</sup> y el puntaje de 1 a los materiales con densidad de 4000 kg/m<sup>3</sup> en adelante.

La quinta categoría se refiere a la posibilidad de reciclaje y reutilización de los materiales, donde se favorece a los materiales con posibilidad de reciclaje y reutilización en su totalidad, ya que en caso de permitir reciclarse o reutilizarse parcialmente se requerirían procedimientos complementarios que aumentarían los costos y retrasarían los tiempos.

Por tanto, en términos de la calificación de esta categoría, se otorga el puntaje de 5 a los materiales que pueden reciclarse y reutilizarse completamente sin ningún procedimiento adicional, el puntaje de 3 a los materiales que se pueden reciclar y reutilizar aunque implique procesos adicionales, a los materiales que se pueden reciclar y reutilizar parcialmente, y a los materiales que se pueden reciclar aunque se cambien sus propiedades y la calificación de 1 a los materiales que no pueden reciclarse.

La sexta categoría, la durabilidad hace referencia al tiempo que perdura el material a condiciones de intemperie y tiene importancia en la medida en que el tipo de edificación que se está proponiendo es un alojamiento temporal sin posibilidad de tornarse permanente lo cual favorece la corta durabilidad de materiales.

Para la calificación de esta categoría se otorgó la puntuación de 1 a los materiales que tienen una duración larga y que sugieren una construcción permanente como el concreto o el adobe; la calificación de 3 a los materiales que tienen una duración media, como materiales naturales que con tratamientos se prolonga su resistencia a las condiciones externas y la calificación de 5 a los materiales con baja duración generalmente mate-



riales orgánicos sin tratamientos químicos que se descomponen rápidamente a las condiciones de intemperie.

La séptima categoría se refiere a la estabilidad térmica, entendida como la capacidad de los materiales para controlar los cambios bruscos de temperatura medida a través de la inercia térmica; por tanto se favorece a los materiales que con mayor inercia aportan a la estabilidad térmica y al confort de la edificación.

En relación con la calificación se establecieron rangos en unidades de kilowatt por metro cuadrado ( $\text{kW}/\text{m}^2$ ) donde se otorgó el puntaje de 1 a los materiales con inercia térmica de 0 a 400  $\text{kW}/\text{m}^2$ , el puntaje de 2 a los materiales con inercia térmica de 400 a 800  $\text{kW}/\text{m}^2$ , el puntaje de 3 a los materiales con inercia térmica de 800 a 1200  $\text{kW}/\text{m}^2$ , el puntaje de 4 a los materiales con inercia térmica de 1200 a 1600  $\text{kW}/\text{m}^2$ , y el puntaje de 5 a los materiales con inercia térmica de 1600 a 2000  $\text{kW}/\text{m}^2$ .

La octava categoría denominada conductividad, tiene en cuenta la propiedad de los materiales de transmitir calor, sin embargo para el tipo de

edificación que se está proponiendo se espera que la transmisión de calor se defina en relación con el tipo de clima, donde posiblemente se instale el sistema de alojamiento temporal pero que la tendencia sea a la conductividad baja.

Así para la calificación de esta categoría se definió el puntaje de 5 a los materiales que se encuentren en el rango de 0 a 0,5  $\text{W}/\text{mK}$ , el puntaje de 4 a los materiales que con conductividad en el rango de 0,5 a 1  $\text{W}/\text{mK}$ , el puntaje de 3 a los materiales con conductividad en el rango de 1 a 1,5  $\text{W}/\text{mK}$ , el puntaje de 2 a los materiales con conductividad en el rango de 1,5 a 2  $\text{W}/\text{mK}$  y por último el puntaje de 1 a los materiales con conductividad de 2  $\text{W}/\text{mK}$  en adelante.

La novena categoría se refiere a la energía embebida entendida como la cantidad de energía empleada en los procesos de producción del material y se relaciona directamente con el impacto ambiental por lo cual se favorece a los materiales que tienen un nivel menor de energía embebida.

Lo mismo se refleja en la calificación de la categoría donde el puntaje de 5 se otorga a los materiales que se encuentran en el rango de energía embebida de 0 a 50  $\text{MJ}/\text{kg}$ , el puntaje de 4 a los materiales en el rango de 50 a 100  $\text{MJ}/\text{kg}$ , el puntaje de 3 a los materiales en el rango de 100 a 150  $\text{MJ}/\text{kg}$ , el puntaje de 2 a los materiales en el rango de 150 a 200  $\text{MJ}/\text{kg}$  y el puntaje de 1 a los materiales con energía embebida de 200  $\text{MJ}/\text{kg}$  en adelante.

La décima categoría propuesta se refiere al efecto isla de calor y tiene en cuenta el fenómeno de acumulación de calor en las ciudades por efectos de las construcciones, así que para la selección de materiales se prefieren aquellos materiales que tengan un aporte mínimo o nulo a dicho fenómeno.

Para la calificación de esta categoría, se definió el puntaje de 5 para los materiales con un aporte en el rango de 0 a 10 SRI (Índice de Reflectancia Solar), el puntaje de 4 para los materiales en el rango de 10 a 20 SRI, el puntaje de 3 para los materiales en

el rango de 20 a 30 SRI, el puntaje de 2 para los materiales en el rango de 30 a 40 SRI y el puntaje de 1 para los materiales con un aporte en el rango de 40 a 50 SRI.

La última categoría se refiere al uso del material con relación al componente y su función en la edificación, por lo tanto varía según el componente de edificio a calificar, y su calificación se define con el puntaje de 5 si el material sirve para el uso asignado, el puntaje de 3 si sirve pero no es el más apropiado en relación al uso y el puntaje de 1 si no sirve para el uso designado.

Como ya se mencionó cada una de estas categorías tiene un porcentaje o un peso sobre el porcentaje total definido en relación con los componentes de edificio sea cimentación, estructura, envolvente o cubierta proyectando cuales son los materiales que tendrían mejor desempeño para cada elemento del edificio.

## Componentes de edificio

Con el fin de seleccionar los materiales adecuados para los diferentes elementos que conforman la edificación, se propuso hacer el análisis según el componente del edificio ya sea cimentación entendida como la conexión con el terreno, estructura, envolvente o cubierta, teniendo en cuenta que los requerimientos y las exigencias técnicas por cada una de estas respondiendo a un todo general, que como lo afirma Kellenberger y Althaus (2009), los componentes del edificio son concebidos como los elementos más pequeños que conforman un sistema general de edificio evidenciando propiedades relevantes comparables lo que a su vez permite la definición de funciones comparables en el sistema y la posibilidad de explorar diversas configuraciones en la búsqueda de reducir el impacto ambiental y obtener confort térmico en el sistema de alojamiento temporal propuesto.

En relación con el componente de edificio de cimentación se otorgó mayor peso a las categorías facilidad de transporte ya que se propone

un sistema para alojamientos temporales lo cual requiere facilidad de movimiento en un plazo corto y el uso, desde la capacidad portante, ya que el principal uso de la cimentación se soportar el total de los elementos del sistema constructivo; cada una de estas categorías corresponde al 20% del porcentaje total.

La tercera categoría que se relaciona con las categorías mencionadas anteriormente, es el peso/densidad con un porcentaje del 15% del 100% y adquiere importancia en la medida en que se requiere materiales para la construcción de la cimentación del sistema que tengan bajo peso y densidad con el fin de facilitar los procesos de movilidad y transporte y que a su vez tenga alta capacidad portante para que responda al uso principal.

La cuarta categoría en el componente de cimentación es la durabilidad, con un 10% del puntaje total, ya que se espera que los materiales empleados en la cimentación causen el menor impacto en el territorio y se minimice la huella en el lugar a través de materiales con baja durabilidad evitando que los alojamientos se tornen permanentes.

A las categorías de reciclaje y reutilización y renovable se le otorgó a cada una un porcentaje de 7,5% del porcentaje total, ya que estas dos categorías apuntan a los procesos de LCA, desde la disminución del impacto en la producción industrial de los materiales.

La siguiente categoría equivalente al 7% del total, es el lugar de producción y tiene menor porcentaje que las dos anteriores, ya que la mayoría de los materiales analizados pueden producirse a escala local; sin embargo, su importancia se relaciona con los costos y el tiempo, esto se debe a que la producción local permite reducir los costos de transporte y el tiempo de acceso a los materiales, además de favorecer las condiciones culturales con el uso de materiales empleados comúnmente o conocidos por la comunidad local.

En ese orden de ideas, se definió un porcentaje del 5% a la categoría de energía embebida en la



medida en que esta puede compensarse con la capacidad del material de reciclarse y reutilizarse; no obstante, su importancia se debe principalmente a la búsqueda por minimizar el impacto ambiental no solo en la construcción del sistema de alojamiento temporal sino desde la etapa de producción de las piezas que componen dicho sistema.

Por último se otorgó un porcentaje de 2,5% a cada una de las categorías de estabilidad térmica, conductividad y efecto isla de calor ya que según la cantidad de material empleado para este componente de edificio y las dimensiones del módulo de alojamiento, los valores pueden no ser tan influyentes en el resultado final, dicho de otro modo y a modo de ejemplo, con las reducidas dimensiones del módulo el aporte al efecto isla de calor de una ciudad puede ser despreciable; sin embargo, se tienen en cuenta estas categorías con el fin de seleccionar materiales que minimicen el impacto ambiental.

En relación con el componente de edificio de estructura, reconocido como el esqueleto de la edificación se otorgó el mayor porcentaje de 20% a las categorías de facilidad de transporte, peso/densidad y uso entendido como la capacidad estructural; la importancia de estas tres categorías se debe a la necesidad de una estructura liviana, que facilite el transporte, la movilidad y la manipulación de las piezas para el proceso de construcción.

Asimismo se definió el porcentaje de 7,5% para las categorías de reciclaje y reutilización y renovable, ya que se espera que la estructura se pueda desarmar, transportar y reutilizar para la construcción de los alojamientos temporales que se requieran en otro evento, y que a su vez pueda ser reciclada disminuyendo la huella de impacto.

Con un porcentaje de 7% se definió la categoría de lugar de producción que como ya se mencionó, adquiere importancia en relación con la reducción de costos de transporte y tiempos, del mismo modo, con un porcentaje de 5,5% se definió la categoría de durabilidad que en este caso se

redujo su importancia en relación con otras categorías puesto que la estructura puede tener una mayor duración que permita la reutilización en otros eventos de desastre.

A la categoría de energía embebida se le otorgó el porcentaje de 5% del total ya que para responder al uso de capacidad estructural se requieren mayores procedimientos que mejoren las capacidades de los materiales generando aumento en los niveles de energía embebida que a su vez causan mayor impacto.

Por último, para el componente de estructura se definió, al igual que en el componente de cimentación, el porcentaje de 2,5% a las categorías de estabilidad térmica, conductividad y efecto isla de calor, basados en el bajo aporte en relación con las dimensiones del módulo de alojamiento temporal.

Para el componente de envoltente, se dio mayor importancia a la categoría de facilidad de transporte, con un porcentaje del 20%, ya que el tipo de edificación es de carácter temporal lo que sugiere mayor movilidad y facilidad de desmonte, esto a su vez se relaciona de manera directa con las categorías de peso/densidad y el uso, traducido en capacidad envoltente que tienen un porcentaje del 15%.

Por otra parte con un porcentaje del 17%, se encuentra la categoría de durabilidad y cobra importancia en la medida en que la duración de la envoltente del alojamiento temporal puede conducir a que dichos alojamientos se tornen permanentes, por tanto se favorece la elección de materiales con corta duración.

Con un porcentaje del 7,5% se definió a la categoría de renovable, que en este caso de componente de edificio puede relacionarse con materiales orgánicos basados en recursos renovables como la madera o fibras vegetales, esto en coherencia con la duración de la envoltente favoreciendo materiales de biodegradables con bajo impacto en el lugar.

Al igual que en el componente de edificio, de estructura, se le otorgó un porcentaje del 7% a la categoría de lugar de producción, no obstante, se asignó un porcentaje menor de 5,5% a la categoría de reciclaje y reutilización ya que favoreciendo la corta durabilidad y el uso de materiales biodegradables puede reducirse la resistencia del material e inhabilitarlo para la reutilización favoreciendo solo su proceso de reciclaje.

Las categorías energía embebida con un porcentaje del 5%, y estabilidad térmica, conductividad y efectos isla de calor con un porcentaje de 2,5% se mantienen con el mismo valor de los componentes anteriores como cimentación y estructura.

Por último, para el componente de edificio de cubierta, se asignó un mayor porcentaje, con el 20%, al igual que el componente anterior sobre envolvente, a las categorías de facilidad de transporte, peso/densidad y uso que puede traducirse en resistencia a condiciones externas, favoreciendo materiales ligeros que permiten la rápida movilidad al lugar del desastre y que tengan la resistencia adecuada para proveer refugio a los afectados.

Asimismo, se asignó el porcentaje del 10% a la categoría de durabilidad que como ya se mencionó juega un papel importante en una edificación de tipo temporal razón por la cual se favorecen los materiales de corta duración que no promuevan que los alojamientos se tornen permanentes.

Al igual que los otros componentes de edificación cimentación, estructura y envolvente, se mantuvo el porcentaje de 7% a la categoría de lugar de producción; sin embargo, se asignó el porcentaje de 5% a las categorías de renovable, reciclaje y reutilización y energía embebida y se mantuvo el porcentaje de 2,5 a las categorías de estabilidad térmica, conductividad y efecto isla de calor.

Así, los porcentajes de las 11 categorías que dan como total 100%, varían según el componente de edificio sea cimentación, estructura, envolvente o cubierta y se multiplican por la calificación establecida de 1 a 5 expuesta en los criterios de análisis para dar como resultado una calificación general

de los materiales donde se tomaron los tres con mejores puntajes como los más indicados según el componente de edificio.

Por otra parte, para la calificaciones de materiales se tomaron en cuenta nueve tipos de estos según Rocha (2011) y Rocha (2012) que incluyen tierra, piedra, concreto, maderas, metales, vidrios, polímeros, textiles y vegetales, donde cada tipo incluye diversas configuraciones y usos del material en relación con el componente de edificio que se está evaluando.

## Resultados

La aplicación de la metodología para la selección de los materiales a través de categorías con puntajes en el rango de 1 a 5 donde 5 representa el mejor desempeño, multiplicados por el peso que se le otorga a cada categoría según la importancia traducida en un porcentaje que da como resultado un 100%, permitió reconocer cuáles son los materiales que responderían mejor según las determinantes de diseño definidas en el principio a través del análisis de antecedentes desde las variables gestión, temporalidad y tecnología y el análisis desde la forma y la función, en coherencia con la búsqueda de un diseño multidimensional y sostenible.

Este análisis realizado solo para el tipo de edificación de alojamiento temporal que incluye cuatro componentes de edificio, cimentación, estructura, envolvente y cubierta, vislumbró en términos de las determinantes de diseño cuales son los materiales que tendrían mejor desempeño en relación con la función que cumple dentro de cada componente.

Así, para el componente de edificio de cimentación el análisis indicó que los materiales más adecuados son las maderas, concebidas como las maderas aserradas, procesadas y guadua, con puntajes similares sobre el 4,6 y del tipo de los metales el aluminio con un puntaje de 3,6, ya que cumplen con el uso de capacidad portante, tienen facilidad de transporte, tienen un peso /densidad,

			7%	20%	7.5%	15%	7,5%	10%	2,5%	2,5%	5%	2,5%	20%	100
			Lugar de producción	Facilidad de transporte	Renovable	Peso/desindad	Reciclaje y reutilización	Durabilidad	Estabilidad Térmica	Conductividad	Energía embebida	Efecto Isla de calor	Uso: Capacidad portante	Total
Alojamientos temporales														
Cimentación														
Materiales	Tierra	Adobe, Baهرانque y tapia	5	1	3	4	3	1	3	5	5	3	5	3,245
		Ladrillo, Bloque de arcilla	5	1	1	4	3	1	3	4	5	2	1	2,245
	Piedra	Sin proceso	5	1	3	4	3	1	3	4	5	2	1	2,395
		Bloques laborados	5	1	1	4	3	1	3	4	5	2	1	2,245
		Placas	5	1	1	4	3	1	3	4	5	2	1	2,245
	Concreto	Prefabricados y bloques de concreto	5	1	1	3	3	1	4	3	5	2	5	2,89
		Concreto reforzado	5	1	1	3	3	1	5	1	5	2	5	2,865
		Láminas de fibrocemento	5	3	1	4	3	1	4	3	5	2	1	2,645
	Madera	Madera aserrada-pino	5	5	5	5	5	3	1	5	5	2	5	4,625
		Procesadas	5	5	5	5	5	3	2	5	5	2	5	4,65
		Guadua	5	5	5	5	5	3	1	5	5	5	5	4,625
	Metales	Hierros y acero	5	1	1	1	1	5	1	5	1	5	1	2,86
		Cobre	1	1	1	1	5	1	5	1	4	1	1	1,55
Aluminio		3	5	3	3	5	1	5	1	1	1	5	3,6	

**Tabla 1.** Resultado análisis materiales con mejor desempeño en relación con el componente de edificio cimentación, aplicación metodología para selección de materiales. Fuente: elaboración del autor basado en Rocha (2012).

durabilidad, reciclaje y reutilización y demás especificaciones que responden acorde con el carácter temporal del tipo de edificación.

En la tabla 1, se muestra la puesta en escena de la metodología para la selección de materiales con el análisis aplicado al componente de edificio cimentación, donde se observa en la parte superior las once categorías mencionadas, con el porcentaje asignado según la importancia en relación con el componente de edificio.

Ahora bien, las calificaciones de cada material se multiplicaron por el porcentaje asignado en cada categoría dando como resultado un puntaje en una escala de 1 a 5, donde 5 significa mayor pertinencia del material con relación al componente de edificio, que para este caso la cimentación se sugiere el uso de maderas y aluminio. Este sistema se aplica para los demás componentes, estructura, envolvente y cubierta.

Para el caso del componente de estructura, se realizó la misma operación dando resultados muy similares para el componente de cimentación aun cuando los porcentajes asignados a las categorías variaron, los materiales con mejor desempeño según el tipo de edificación de alojamiento temporal fueron nuevamente las maderas con un puntaje sobre el 4,7 y el aluminio con un puntaje de 3,6.

En estos dos casos de cimentación y estructura, se favorecen los materiales con capacidad estructural que no impliquen larga duración y sistemas de construcción en seco que puedan desarmarse con facilidad para el transporte y la reutilización que no requieran grandes procesos para su construcción, razón por la cual son pertinentes las maderas y el aluminio.

En relación con el componente de envolvente, el análisis arrojó resultados muy diversos a los dos componentes anteriores de cimentación y estruc-

			7%	20%	7.50%	20%	7,5%	5.5%	2.5%	2,5%	5%	2.5%	20%	100%
Alojamientos temporales			Lugar de producción	Facilidad de transporte	Renovable	Peso/densidad	Reciclaje y reutilización	Durabilidad	Estabilidad Térmica	Conductividad	Energía embebida	Efecto Isla de calor	Uso: Capacidad estructural	Total
Estructura														
Materiales	Concreto	Prefabricados y bloques de concreto	5	1	1	3	3	1	4	3	5	2	5	2,98
		Concreto reforzado	5	1	1	3	3	1	5	1	5	2	5	2,955
		Láminas de fibrocemento	5	3	1	4	3	1	4	3	5	2	3	3,18
	Madera	Madera aserrada-Pino*	5	5	5	5	5	3	1	5	5	2	5	4,715
		Procesadas	5	5	5	5	5	3	2	5	5	2	5	4,74
		Guadua	5	5	5	5	5	3	1	5	5	2	5	4,715
	Metales	Hierro y Acero	5	1	1	1	5	1	5	1	5	1	5	2,68
		Cobre	1	1	1	1	5	1	5	1	4	1	1	1,55
		Aluminio	3	5	3	3	5	1	5	1	1	1	5	3,69

**Tabla 2.** Resultado análisis materiales con mejor desempeño en relación con el componente de edificio estructura, aplicación metodología para selección de materiales. Fuente: elaboración del autor basado en Rocha (2012).

			7%	20%	7.50%	15%	5,5%	17%	2.5%	2,5%	5%	2.5%	15%	100%
Alojamientos temporales			Lugar de producción	Facilidad de transporte	Renovable	Peso/densidad	Reciclaje y reutilización	Durabilidad	Estabilidad Térmica	Conductividad	Energía embebida	Efecto Isla de calor	Uso: Capacidad envolvente	Total
Envolvente														
Materiales	Tierra	Adobe, Baهرانque y tapia pisada	5	1	3	4	3	1	3	5	5	3	1	2,39
		Ladrillo, bloque de arcilla	5	1	1	4	3	1	3	4	5	2	3	2,5
	Piedra	Sin proceso	5	1	3	4	3	1	3	4	5	2	3	2,65
		Bloques laborados	5	1	1	4	3	1	3	4	5	2	3	2,5
		Placas	5	1	1	4	3	1	3	4	5	2	1	2,19
	Concreto	Prefabricados y bloques de concreto	5	1	1	3	3	1	4	3	5	2	3	2,15
		Concreto reforzado	5	1	1	3	3	1	5	1	5	2	3	2,325
		Láminas de Fibrocemento	5	3	1	4	3	1	4	3	5	2	1	2,59
	Madera	Madera aserrada-Pino*	5	5	5	5	5	3	1	5	5	2	1	3,865
		Procesadas	5	5	5	5	5	3	2	5	5	2	1	3,89
		Guadua	5	5	5	5	5	3	1	5	5	2	1	3,865
	Metales	Hierro y acero	5	1	1	1	5	1	5	1	5	1	1	1,3
		Cobre	1	1	1	1	5	1	5	1	4	1	1	1,47
		Aluminio	3	5	3	3	5	1	5	1	1	1	1	2,71
	Vidrio	Lámina	5	3	1	3	3	1	4	4	5	2	3	2,775
		Bloque	5	3	1	3	3	1	4	4	5	2	3	2,775
		Estructural	5	3	1	3	3	1	4	4	5	2	3	2,775
	Polímeros	Naturales	1	5	5	4	3	3	2	5	4	2	3	3,61
		Adhesivos	1	5	1	5	3	3	0	0	4	5	1	3,05
		Aislantes	1	5	1	5	3	3	1	5	3	4	1	3,125
	Textiles	Fibras animales	5	5	5	5	1	5	2	2	5	5	5	4,63
		Vegetales-Yute*	5	5	5	5	1	5	2	4	3	4	5	4,555
		Fibras minerales	1	5	1	5	1	5	1	5	5	5	5	4,1
		Fibras sintéticos	5	5	1	5	1	3	2	4	3	2	5	3,865
	Vegetales	Fibra vegetales – lonas *	5	5	5	5	1	5	1	5	5	5	5	4,68

**Tabla 3.** Resultado análisis materiales con mejor desempeño en relación con el componente de edificio envolvente, aplicación metodología para selección de materiales. Fuente: elaboración del autor Rocha (2012).

			7%	20%	5%	20%	5%	10%	2.5%	2,5%	5%	2.5%	20%	100%
Alojamientos temporales Cubierta			Lugar de producción	Facilidad de transporte	Renovable	Peso/densidad	Reciclaje y reutilización	Durabilidad	Estabilidad Térmica	Conductividad	Energía embebida	Efecto Isla de calor	Uso: Resistencia a condiciones externas	Total
Materiales	Madera	Madera aserrada-Pino*	5	5	5	5	5	3	1	5	5	2	1	3,825
		Procesadas	5	5	5	5	5	3	2	5	5	2	1	3,85
		Guadua	5	5	5	5	5	3	1	5	5	2	1	3,825
	Metales	Hierro y acero	5	1	1	1	5	1	5	1	5	1	5	2,6
		Cobre	1	1	1	1	5	1	5	1	4	1	5	2,27
		Aluminio	3	5	3	3	5	1	5	1	1	1	5	3,56
	Polímeros	Naturales	1	5	5	4	3	3	2	5	4	2	3	3,61
		Adhesivos	1	5	1	5	3	3	0	0	4	5	1	3,11
		Aislantes	1	5	1	5	3	3	1	5	3	4	1	3,185
	Textiles	Fibras animales	5	3	5	5	1	5	2	2	5	5	3	3,83
		Vegetales-Yute*	5	3	5	5	1	5	2	4	3	4	5	4,155
		Fibras minerales	1	3	1	5	1	5	1	5	5	5	1	3
		Fibras sintéticos	5	5	1	5	1	3	2	4	3	2	5	4,105
	Vegetales	Fibra vegetales – lonas *	5	3	5	5	1	5	1	5	5	5	5	5,28

**Tabla 4.** Resultado análisis materiales con mejor desempeño en relación con el componente de edificio, cubierta, aplicación metodología para selección de materiales. Fuente: elaboración del autor Rocha (2012).

tura en vista de las diferencias entre la función de estos con la envolvente de la edificación.

En este caso se encontró que el tipo de materiales que resultó más adecuado en relación con la función de envolvente son los textiles con una puntuación que oscila entre 4,1 y 4,6 y las fibras vegetales con una puntuación de 4,6; esto se debe a que los textiles pueden transportarse fácilmente, ofrecen cobijo, no tiene una duración tan larga que invite a la permanencia, permiten la privacidad, pueden desmontarse fácilmente y funcionan con sistemas en seco haciendo que su montaje sea muy rápido.

Para el último componente de edificio, la cubierta, de manera muy similar a la envolvente, los resultados apuntan a los textiles y a las fibras vegetales, con mayor énfasis en las fibras vegetales con un puntaje de 4,2, las fibras sintéticas con un puntaje de 4,1 e igualmente los textiles vegetales con un puntaje de 4,1.

La ventaja que tiene los textiles sobre los demás materiales es que pueden ser muy prácticos para

el montaje, funcionan con sistemas en seco, son manipulables sin requerimientos de herramientas especializadas y pueden tener mucha correspondencia cultural al usar textiles disponibles en el lugar, además de enmarcar el carácter temporal de una construcción realizada con este material.

Así, los resultados obtenidos a través de esta metodología son la base para el paso siguiente donde se llevan a cabo las simulaciones ambientales; en esta etapa se confrontarán los resultados obtenidos aquí a partir de los lineamientos de LCA con el desempeño térmico con el fin de tener un sistema constructivo multidimensional enfocado a la sostenibilidad y amable con el ambiente.

## Discusión

La aplicación de la metodología propuesta permitió obtener resultados preliminares sobre los materiales que resultarían adecuados según el tipo de edificación de alojamientos temporales; sin

embargo, surgen varios puntos de discusión a partir de este ejercicio.

En ese orden de ideas, la metodología aquí propuesta como ya se mencionó tiene en cuenta los lineamientos de LCA en términos generales; no obstante se requiere un estudio en términos de desempeño térmico con el fin de tener en cuenta todos los ámbitos en el diseño del sistema constructivo y donde se tenga en cuenta también las condiciones climáticas del lugar, como humedad, vientos y temperatura entre otros, y la diversidad de climas en Colombia, razón por la cual se propone el desarrollo de una etapa de simulaciones ambientales, que contextualice al diseñador para la óptima selección de materiales.

Así, los análisis térmicos basados en combinaciones con los materiales aquí seleccionados pueden arrojar resultados diferentes en términos de desempeño térmico que probablemente lleven a descartar materiales que resultaban muy prometedores en la selección realizada bajo la metodología propuesta, se puede decir entonces que las simulaciones ambientales complementan el proceso de selección de materiales garantizando que los materiales escogidos cumplan no solo con los lineamientos de LCA sino también con estándares de confort.

Por otra parte, las categorías de análisis tal y como se plantean en la guía verde de especificaciones (Anderson, Shiers y Steele, 2009) aplicada al contexto europeo, donde se analizan trece los ítems ya mencionados a cada material, para la aplicación en Colombia, exigiría un estudio a profundidad en colaboración con las empresas productoras a escala nacional para conocer los procesos industriales específicos en la producción de los diversos materiales dando paso a otro proyecto de investigación sin duda de gran aplicación; sin embargo, al no tener acceso a dicha información tan específica, se plantearon las diversas categorías en concordancia con el LCA pero basadas en la información disponible y con posibilidad de verificación.

En cuanto a la definición de los porcentajes de las categorías en proporción con la importancia de esta en la selección de los materiales que se adecuen mejor según el tipo de componente de edificio, surgen unos cuantos puntos de discusión.

El primer punto de discusión se basa en que en la guía verde de especificaciones se define a través de un panel de expertos cual es la importancia de cada de una de las categorías indiferentemente del componente de edificación o del tipo de edificación que se esté analizando, no obstante es posible pensar que el porcentaje puede variar en relación con las categorías que se definan ya que algunas pueden tener mayor importancia según el tipo de edificación que se analice, por ejemplo si se habla de alojamientos temporales la facilidad de transporte, la durabilidad, la facilidad de desmonte, reciclaje y reutilización de un material puede tener mayor relevancia que si se habla de una edificación permanente.

Por tanto es posible decir que los porcentajes y las categorías de análisis deberían definirse en relación con el tipo de edificación y al papel del componente de edificio en la edificación.

El segundo punto de discusión se basa en la forma como se definen los porcentajes de importancia de cada categoría, tanto si se define a través de un panel de expertos como se hizo en la guía verde de especificaciones o si pueden definirse a través de los requerimientos de diseño que surgen a partir del análisis de antecedentes desde las variables de gestión, temporalidad y tecnología y análisis de antecedentes desde la forma y la función como se hizo en este proyecto de investigación.

En este sentido los requerimientos de diseño emergidos del análisis de antecedentes, apuntan a un proyecto multidimensional que tiene en cuenta las variables necesarias para que el diseño sea adecuado, acorde al contexto y a los requerimientos básicos, por tanto la definición de los porcentajes de las categorías basado en dichos lineamientos conlleva a una selección de materiales concordante con los principios de diseño.

Por último, es claro que aunque de la aplicación de la metodología resulten cuales son los materiales que se adecuan mejor a partir de los lineamientos de LCA, en concordancia con los requerimientos de diseño definidos a través del estudio de antecedentes, se requiere una etapa complementaria de simulaciones ambientales donde se analicen cuales de los materiales aquí seleccionados tienen además mejor desempeño térmico apuntándole al confort.

## Conclusiones

La metodología propuesta para la selección de materiales, que en este caso se aplicó al diseño de alojamiento temporales, resulta útil en la medida en que puede ser replicada en el diseño de otro tipo de edificios en la búsqueda de materiales que cumplan con los lineamientos de LCA; no obstante, se haría necesario definir el peso de las categorías en relación al papel que cumplen dentro de la edificación, definir más categorías o modificarlas en relación con el uso de la edificación a estudiar.

Asimismo, para la selección de los porcentajes en relación con la importancia de la categoría, se debe tener en cuenta no solo los lineamientos de diseño y el enfoque del proyecto a diseñar, sino, la ayuda de un panel de expertos que puede ser otra alternativa muy útil para definir la importancia de las categorías reflejándose en el puntaje final de la evaluación de cada material.

Por otra parte en relación con los componentes de edificio, pueden agregarse componentes como aislamientos, elementos divisorios u otros elementos que se definan o se requieran según el tipo de edificación a estudiar, llevando a realizar ajustes a la metodología.

Con miras a tener un proyecto multidimensional se sugiere realizar una etapa posterior donde se lleven a cabo simulaciones ambientales con programas especializados con el fin de analizar el desempeño térmico de los materiales y de esta manera poder tomar decisiones sobre los materiales que tengan en cuenta todos los frentes del proyecto.

Así los resultados de la metodología son entendidos como la base para las simulaciones ambientales donde a través de configuraciones con los materiales de mejor desempeño, según el componente de edificio, se puede tener un panorama general sobre los materiales de mayor pertinencia para acompañar el diseño acorde al contexto.

En relación con el análisis realizado en la construcción de la guía verde por Anderson, Shiers y Steele (2009) sería muy conveniente que se pudiera concebir el estudio con los productores de los diversos materiales en Colombia, con el fin de realizar una guía de especificaciones local que ayude a los arquitectos, diseñadores y demás profesionales cercanos al campo de la construcción en la toma de decisiones sobre materiales que tengan en cuenta los lineamientos de LCA a favor de la elaboración de proyectos sostenibles.

En ese sentido, se requeriría la colaboración de los diversos gremios relacionados con la industria de la construcción a fin de conocer a profundidad cuales son los procesos específicos en la producción de los materiales y como se llevan a cabo actividades como el manejo de desechos, el uso del agua, las emisiones de CO<sub>2</sub> entre otras, que tienen afectación directa al ambiente, dando paso a otro proyecto de investigación.

Por último, la construcción de dicha metodología permitió comprender la importancia de la selección de materiales que cumplan no solo con los lineamientos de LCA en los procesos de producción y en el transcurso del ciclo de vida sino también en la búsqueda del confort, analizado a través de las simulaciones ambientales en una etapa posterior y en la concordancia con la cultura local en la construcción de proyectos multidimensionales enfocados hacia un desarrollo sostenible y un menor impacto ambiental.

Lo anterior, sugiere dar paso a una etapa de simulaciones ambientales donde se exploren configuraciones de materiales con diversos elementos como aislamientos, envolventes y

aberturas, que complementen el diseño de los alojamientos temporales desde una visión multi-dimensional.

## Referencias

- ◆ Abeysundara, U. Y.; Babel, S. y Gheewala, S. (Mayo de 2009). "A matrix in life cycle perspective for selecting sustainable materials for buildings in Sri Lanka", en *Building and Environment*, volume 44, issue 5, pp. 997-1004.
- ◆ Akadiri, P. O.; Olomolaiye, P. O. y Chinyio, E. A. (Marzo de 2013). "Multi-criteria evaluation model for the selection of sustainable materials for building projects", en: *Automation in Construction*, volume 30, pp. 113-125.
- ◆ Anderson, J.; Shiers, D. y Steele, K. (2009). *The Green Guide to Specification* (Fourth edition ed.). Great Britain: BRE and Oxford Brookes University.
- ◆ Ashby, M.; Bréchet, Y.; Cebon, D. y Salvo, L. (Febrero de 2004). "Selection strategies for materials and processes", en: *Materials & Design*, volume 25, issue 1, pp. 51-67.
- ◆ Ashby, M.; Cope, E. y Cebon, D. (2013). "Materials Selection for Engineering Design", (E. B.-H. In: Krishna Rajan, Ed.) *Informatics for Materials Science and Engineering*, pp. 219-244.
- ◆ Basbagill, J.; Flager, F.; Lepech, M. y Fischer, M. (Febrero de 2013). "Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts", en: *Building and Environment*, volume 60, pp. 81-92.
- ◆ Bribián, I. Z.; Usón, A. A. y Scarpellini, S. (Diciembre de 2009). "Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification", en *Building and Environment*, volume 44, issue 12, pp. 2510-2520.
- ◆ Castro-Lacouture, D.; Sefair, J.; Flórez, L. y Medaglia, A. (Junio de 2009). "Optimization model for the selection of materials using a LEED-based green building rating system in Colombia", en: *Building and Environment*, volume 44 (issue 6), pp. 1162-1170.
- ◆ Crawford, C.; Manfield, P. y McRobie, A. (Mayo de 2005). "Assessing the thermal performance of an emergency shelter system", en: *Energy and Buildings*, volume 37 ( issue 5), pp. 471-483.
- ◆ Finnveden, G.; Hauschild, M.; Ekvall, T.; Guinée, J.; Heijungs, R.; Hellweg, S. (Octubre de 2009). "Recent developments in Life Cycle Assessment", en: *Journal of Environmental Management*, volume 91, issue 1, pp. 1-21.
- ◆ Flórez, L., y Castro-Lacouture, D. (Abril de 2013). "Optimization model for sustainable materials selection using objective and subjective factors", *Materials & Design*, volume 46, pp. 310-321.
- ◆ Giudice, F.; Rosa, G. y Risitano, A. (Febrero de 2005). "Materials selection in the Life-Cycle Design process: a method to integrate mechanical and environmental performances in optimal choice", en: *Materials & Design*, volume 26 (issue 1), pp. 9-20.
- ◆ Heijungs, R. ; Huppes, G. y Guinée, J. B. (Marzo de 2010). "Life cycle assessment and sustainability analysis of products. Toward a scientific framework for sustainability life cycle analysis, Polymer Degradation and Stability", en: *Materials and Technologies*, volume 95, issue 3, pp. 422-428.
- ◆ Jahan y Edwards (2013). "The Importance of Decision Support in Materials Selection", en: A. J. Edwards, *Multi-criteria Decision Analysis for Supporting the Selection of Engineering Materials in Product Design* (pp. Pages 1-15). Boston: Butterworth-Heinemann.
- ◆ Kellenberger, D. y Althaus, H.-J. (Abril de 2009). "Relevance of simplifications in LCA of building components", en *Building and Environment*, volume 44 (issue 4), pp. 818-825.
- ◆ Luciani, S. (2012). "Análisis de antecedentes de forma y función para la identificación de criterios de diseño aplicado al diseño de alojamientos temporales". Working paper.
- ◆ Luciani, S. (2012). "Análisis de variables para el estudio de antecedentes como aproximación metodológica para la identificación de insumos de diseño aplicado a alojamientos temporales", en *Alarife* (23), pp. 34-59.
- ◆ Malmqvist, T.; Glaumann, M.; Scarpellini, S.; Zabalza, I.; Aranda, A.; Llera, E. y otros. (Abril de 2011). "Life cycle assessment in buildings: The ENSLIC simplified method and guidelines", en: *Energy*, volume 36, issue 4, pp. 1900-1907.
- ◆ Morales, L.; Azzaro, C., Belaud, J.-P.; Pibouleau, L. y Domenech, S. (2012). "An integrated approach combining process simulation and life cycle assessment for eco-efficient process design", en: *Computer Aided Chemical Engineering*, Elsevier, volume 30, pp. 142-146.



- ◆ Ortiz, O.; Castells, F. y Sonnemann, G. (Enero de 2009). "Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA", en: *Construction and Building Materials*, volume 23, issue 1, pp. 28-39.
- ◆ Peuportier, Thiers y Guiavarch (Enero de 2013). "Eco-design of buildings using thermal simulation and life cycle assessment", en: *Journal of Cleaner Production*, volume 39, pp. 73-78.
- ◆ Poudelet, V.; Chayer, J.-A.; Margni, M.; Pellerin, R. y Samson, R. (Septiembre de 2012). "A process-based approach to operationalize life cycle assessment through the development of an eco-design decision-support system", en *Journal of Cleaner Production*, volume 33, pp. 192-201.
- ◆ Rebitzer, G.; Ekvall, T.; Frischknecht, R.; Hunkeler, D.; Norris, G.; Rydberg, T. y otros. (Julio de 2004). "Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications", en: *Environment International*, volume 30, issue 5, pp. 701-720.
- ◆ Ribeiro, I.; Peças, P. y Henriques, E. (Octubre de 2013). "A life cycle framework to support materials selection for Ecodesign: A case study on biodegradable polymers", en: *Materials & Design*, volume 51, pp. 300-308.
- ◆ Rocha, E. (Julio-diciembre de 2011). "Construcciones sostenibles: materiales, certificaciones y LCA", en: *Revista Nodo*, vol. 6 (No. 11), pp. 99-116.
- ◆ Rocha, E. (2012). *Materiales sostenibles principios y guía práctica*. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- ◆ Verbeeck, G., y Hens, H. (Abril de 2010). "Life cycle inventory of buildings: A calculation method", en: *Building and Environment*, volume 45, issue 4, pp. 1037-1041.
- ◆ Zander, J., y Sandström, R. (Mayo de 2012). "Materials selection with several sizing variables taking environmental impact into account", en: *Materials & Design*, volume 37, pp. 243-250.