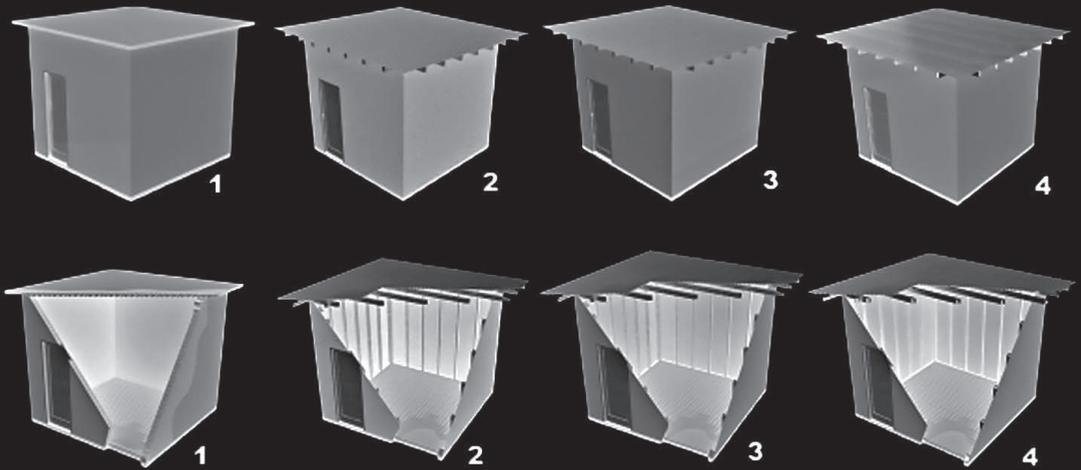


Paulo Romero

paulo-romero@unipiloto.edu.co



E

**co-envolventes valoradas desde
un análisis de ciclo de vida del
producto**

*Eco-enveloping evaluated from a
product lifecycle analysis.*

Primera versión recibida el 1 de noviembre de 2013
Versión final aprobada el 17 de diciembre de 2013

Resumen

El artículo presenta el desarrollo de un módulo para identificar su confort térmico luego de colocar una eco-envolvente. Asimismo, se buscó que la construcción de dicho módulo correspondiera con criterios ambientales, por lo que se escogió el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para determinar la mejor opción. Se planteó una metodología que implicó el uso de dos herramientas para el desarrollo del análisis, con el propósito de dar mayor robustez a los resultados. La propuesta se fundamentó en lineamientos de la visión de la firma basada en recursos naturales. Se proyecta que las soluciones que puedan definirse con apoyo en dicho análisis se enmarquen en una dimensión estratégica ambiental.

Palabras clave

Ciclo de Vida, confort térmico, ventajas competitivas.

Abstract

The green-envelop project proposed the development of a module to identify its thermal comfort after placing a green-envelop. Likewise, it was sought that the construction of this module matched environmental criteria, consequently, a Life Cycle Analysis (LCA) was chosen to determine the best option. The project, in its environmental analysis component, proposed a methodology that involved the use of two tools for the development of the analysis, in order to give greater strength to the results. The proposal was theoretically based on guidelines of the natural resource-based view of the firm. Thus, it is also planned that the solutions that can be defined with support of this analysis are framed within an environmental strategic dimension.

Key Words

Life cycle, thermal comfort, competitive advantage.

Eco-envolventes valoradas desde un análisis de ciclo de vida del producto¹

Eco-enveloping evaluated from a product lifecycle analysis.

Paulo Romero²
paulo-romero@unipiloto.edu.co

23

Arquetipo

En el marco del proyecto de investigación sobre eco-envolventes, desarrollado en la Universidad Piloto de Colombia, se incluyó un Análisis de Ciclo de Vida del Producto - ACV , para determinar la mejor opción, desde el punto de vista ambiental, del Módulo a construir en la ciudad de Girardot, Colombia. Se planteó aplicar un ACV para identificar mejoras ambientales en el proceso de diseño del módulo y su eco-envolvente. Se proponía evaluar ambientalmente alternativas de uso de materiales para la construcción de dicho módulo, para definir la manera más adecuada de aplicar una estructura eco-envolvente que permitiera mejoras significativas de confort térmico en su interior.

Para cada una de las cuatro alternativas propuestas, los resultados del ACV se propusieron desde valores de referencia, como base para establecer mejoras o para definir la alternativa más adecuada desde el punto de vista ambiental y de acuerdo con los resultados sobre el estudio de confort térmico sobre dichos módulos. El alcance del ACV se definió a partir de la información secundaria disponible en las bases de datos de los programas empleados en el proyecto. Se trabajó la modelación del módulo en *Solid Works* y se aplicó la herramienta *Sustainability Express*. Como complemento, se tomaron datos del software de ACV *Gabi4* para apoyar un análisis transversal, empleando varios métodos y recursos de ACV, puesto que los recursos empleados no contaban con las bases de datos suficientes para apoyar la definición de un inventario completo para cada uno de los módulos en nuestro contexto. Adicionalmente, se empleó el *Ecoindicator 99*, como medio de apoyo a dicho análisis transversal de los impactos ambientales asociados a los módulos.

¹ Proyecto Eco-envolventes, desarrollado por el grupo de investigación de la Universidad Piloto de Colombia, 2012

² Diseñador Industrial, Magister en Saneamiento y Desarrollo Ambiental, Candidato a Doctor en Ingeniería, Industria y Organizaciones. Docente Universidad Nacional de Colombia y Universidad Piloto de Colombia.



Marco teórico

En el desarrollo de la investigación, dos aspectos pueden ser considerados en relación con el análisis de ciclo de vida del producto: uno desde un enfoque ambiental estratégico y el otro desde el solo uso de la metodología. En primer lugar, esta herramienta ha sido tomada como componente del marco teórico de la Visión de la Firma Basada en Recursos Naturales - VFBRN (Fowler & Hope, 2007; Hart, 1995, 1997). Desde el punto de vista de la herramienta en sí misma, se puede afirmar que tanto los ingenieros, como diseñadores o gerentes que quieran orientar sus acciones para contrarrestar los impactos ambientales negativos asociados a los productos, deben considerar alguna clase de enfoque de ciclo de vida (Boks, 2006; Heiskanen, 2002). Igualmente, varias consideraciones deben tenerse en cuenta al momento de trabajar con el ACV, como su condición de ser intensivo en manejo de datos y que es una herramienta que demanda tiempo para ser trabajada.

La VFBRN basa su desarrollo en los lineamientos de la Teoría de la Firma Basada en Recursos – TFVR (Barney, 1991; Wernerfelt, 1984), según la cual los recursos estratégicos se encuentran heterogéneamente distribuidos entre las firmas y estas diferencias se mantienen de manera estable en el tiempo, definiendo una relación entre los recursos de una firma y su

ventaja competitiva. Cuatro indicadores empíricos se pueden identificar como aquellos que otorgan ventaja competitiva: lo valioso, lo raro, lo imperfectamente imitable (imitabilidad) y lo no sustituible (Barney, 1991). Basado en lo anterior, la TFBR considera la capacidad estratégica de tutelaje de producto, la cual se encuentra interconectada con la capacidad estratégica de prevención de la contaminación y la de desarrollo sostenible (de Lange, Busch, & Delgado-Ceballos, 2012; Hart, 1995; Lin, 2012; Sharma & Vredenburg, 1998), esta última, actualizada por tecnologías limpias y base de la pirámide (Hart & Dowell, 2011). La propuesta visionaria de Hart (1995) exalta de manera explícita el uso del ACV integrado al proceso de desarrollo de los productos, como un mínimo requerimiento para realizar un tutelaje de producto desde las firmas, en el cual el diseño para el ambiente se considera como mediador.

En términos concretos relacionados con el proyecto, se puede mencionar que, por ejemplo, desde hace tiempo el gobierno alemán y la industria de la construcción en general han coincidido en que el ACV debería ser la base para definición de los efectos ambientales de los productos de la construcción (Van Berkel, Van Kampen, & Kortman, 1999). Asimismo, en relación con los conceptos de gerencia de ciclo de vida o de tutelaje de producto, sus consideraciones ambientales se deben enmarcar a lo largo de todo el ciclo de vida (de Bakker, Fisscher, & Brack, 2002). De otro lado, no se debe desconocer que la industria de la construcción es considerada como una de las mayores causas de los problemas ambientales a escala global (Hossaini & Hewage, 2012), y el ACV se sigue considerando como una herramienta fundamental para evaluar ambientalmente a los materiales involucrados a lo largo de su ciclo de vida (Hossaini & Hewage, 2012).

En términos de la herramienta, el ACV se

ha establecido como una metodología que aporta al esfuerzo de reducir los impactos ambientales (ISO, 2007a). No obstante, vale recordar que aún prevalecen algunas dificultades en su aplicación, principalmente en relación con la calidad de los datos. Sin embargo, se cuenta con diversas fuentes de información para alimentar la metodología, como libros, reportes, información particular de los investigadores, bases de datos de ACV. Para un ACV, el investigador debe tener en cuenta las consecuencias asociadas al uso de información disponible y los datos requeridos por el análisis, que en algunos casos requiere evaluación previa (von Bahr & Steen, 2004).

Así, de acuerdo con la ISO 14040, un ACV puede ayudar a identificar oportunidades para mejorar el desempeño ambiental de los productos en las distintas fases de su ciclo de vida, e igualmente aporta información a quienes toman decisiones, por ejemplo, para el diseño o rediseño de productos o procesos (ISO, 2007a). Igualmente, el ACV se identificó como herramienta para evaluar los impactos ambientales generados por un sistema de producto desde la “cuna hasta la tumba” (Hart, 1995).

Metodología

Para el proyecto se propuso seguir la metodología planteada en la norma ISO 14040, complementada con la ISO 14044 (ISO, 2007a, 2007b). En un estudio de ACV se definen cuatro fases: de definición del objetivo y alcance, de análisis de inventario, de evaluación del impacto ambiental y de interpretación (ISO, 2007a). Los resultados de un ACV pueden ser usados para: desarrollar estrategias ambientales dentro del proceso de planeación, incluir mejoras ambientales en el proceso de desarrollo del producto, apoyar decisiones de mercadeo, establecer comparaciones, actuar de conformidad con la legislación ambiental, y eventualmente, para apoyar y sustentar

procesos de eco-etiquetado del producto (ISO, 2007b). En el caso de la investigación en eco-envolventes, el objetivo planteado es incluir mejoras ambientales en el proceso de desarrollo del producto.

Objetivo y alcance

En el marco del objetivo y alcance del proyecto, se ha propuesto trabajar con cuatro alternativas de módulos básicos generales para Girardot (Colombia), como base para escoger la mejor desde el punto de vista ambiental, así como de condiciones para el análisis de confort térmico de los módulos (cada uno se propuso como un cubo con una dimensión interna promedio de 3,10 m y externa de 3,50 m). Para cada alternativa, los resultados del ACV se propusieron como valores de referencia.

El alcance del ACV se ha definido a partir de la información secundaria disponible en las bases de datos de los programas empleados en el proyecto: *Solid Works Sustainability Express* y se han tomado elementos de *Gabi4* (hoy ya en versión 6) para apoyar el análisis, puesto que no es posible de momento definir un inventario completo para los módulos que incluya la diversidad de variables que requiere el *software*. Adicionalmente, como referencia, se empleó el *Ecoindicator 99*, desarrollado por la firma *Pré Consultants*, para complementar la información de base para el análisis de impacto. Para la definición del alcance, se propuso un sistema de producto



que se orientó prioritariamente a aspectos relacionados con flujos menores provenientes de otros sistemas y flujos elementales, tanto en las entradas como en las salidas.

Para efectos del proyecto, se planteó que el concepto de “producción” (que se pudiera asumir más al sector manufacturero), se entendiera afín al concepto de “construcción” del módulo. Para el ACV del módulo y sus alternativas, se entendió que se trataba de baja magnitud de los impactos, pero con validez desde el punto de vista metodológico para futuras aplicaciones, y desde un enfoque de generalización teórica, desde una referencia metodológica de estudio de caso (Yin, 2009).

En cuanto a aspectos específicos de la construcción de los módulos, para la producción del mortero de pega, el pañete y el concreto, se consideró el uso de agua como un elemento consumible que no genera impactos ambientales negativos significativos, puesto que dicho proceso en esencia no genera vertimientos en proporciones que demanden análisis y se le ha considerado como un flujo elemental fuera del sistema. Los subprocesos asociados a la construcción tienen que ver con la tecnología que se adopte según cada módulo. Por la magnitud del tipo de construcción, este es un factor que no se incluye en los límites del sistema, formulado en su estructura básica.

Asimismo, en el sistema del módulo diseñado existen elementos de

análisis que demandan mayor detalle en su definición en la fase de inventario y que para el estudio se han incluido en los casos en los que se dispone de información secundaria, en niveles de confiabilidad que van desde bajo hasta medio alto. Se han tenido en cuenta los flujos elementales, entendidos como aquellos que ingresan o salen de la tecnosfera al medio natural y que se consideran fuera de los límites del sistema; igualmente, se consideraron otros procesos que pueden relacionarse con el sistema, en los que se puede requerir mayor detalle, según sea el caso.

Inventario

Esta etapa consideró la recopilación de datos y aspectos relacionados con su cálculo, para así cuantificar tanto las entradas como las salidas pertinentes del sistema del módulo diseñado (ISO, 2007a; Suh & Huppel, 2005). Para el caso del proyecto de eco-envolventes, se trató de cuatro módulos, geoméricamente iguales, según diseños de referencia. Se plantearon materiales para cada módulo, teniendo como elementos comunes la base para el piso y la puerta.

Para cada proceso se calculó el peso en kilogramos como unidad de medida de referencia, tomada tanto en el inventario para el análisis con *Ecoinicator 99*, como para el desarrollo con *Solid Works-Sustainability Express*, y para proyectar la aplicación con *Gabi4* en el desarrollo futuro del proyecto (*software* de ACV desarrollado por la firma PE International. <http://www.pe-international.com>. En la actualidad está disponible la versión 6 de dicho *software*). Para el caso de *Solid Works* se emplearon valores de referencia tomando como base los materiales más afines y para la distribución geográfica se tomó Norte América, dado que la opción de Sur América no estaba desarrollada. Si bien algunos estudios de ACV involucran el análisis de

costos de ciclo de vida, para este proyecto se decidió no considerarlo, por tratarse de un prototipo sin proyección de producción industrial. Es de anotar que las bases de datos con las que trabaja *Solid Works* son aportadas por *Gabi*.

El análisis de inventario implica la recopilación de datos y los procedimientos de cálculo que permiten cuantificar las entradas y salidas pertinentes al sistema de producto (ISO, 2007a). Este componente del ACV es un proceso iterativo (ISO, 2007a) en el que se pueden identificar nuevos requisitos o limitaciones que eventualmente pueden incidir en el alcance y objetivos del ACV. Para el caso de los módulos, la fase de análisis de inventario consideró el indicador “*millipoints*” (milipuntos) de *Ecoindicator 99* y en el módulo *Sustainability de Solid Works* se consideraron los kilogramos de CO_2 , kilogramos de SO_2 , kilogramos de PO_4 , y MJ. Los milipuntos son una unidad de medida propuesta por Pré Consultants, que representan una unidad de comparación entre productos y componentes; la escala se ha escogido de tal manera que un punto representa la milésima parte de la carga ambiental de un habitante europeo en un año (el valor es calculado al dividir el total de la carga ambiental en Europa, por el número de habitantes, multiplicado por 1000, como factor de escala).

Evaluación del impacto ambiental

En nuestro contexto aún no se cuenta con indicadores de ciclo de vida ajustados en la misma proporción que aquellos desarrollados en los países de origen de dichos indicadores. Debido a esto y a que se ha tomado información solo de fuentes secundarias, en el proyecto se propuso cruzar los resultados que arroja *Sustainability de Solid Works* y *Ecoindicator 99* de Pré Consultants, para dar mayor nivel de confiabilidad al análisis y para ofrecer valores de referencia que permitan proponer

mejoras, desde el punto de vista ambiental, al diseño del módulo definitivo. La evaluación del impacto se realizó considerando el análisis de inventario, teniendo en cuenta que para *Ecoindicator 99* se consideran los daños a los recursos, daños a los ecosistemas y daños a la salud humana, y para *Solid Works-Sustainability*, se consideran la huella de carbono, la acidificación atmosférica, la eutrofización del agua y la energía consumida.

Interpretación

El planteamiento del ACV para el proyecto de eco-envolventes se orientó hacia la identificación de la combinación de materiales más convenientes para la construcción de un módulo, en el marco de una relación balanceada entre confort térmico e impacto ambiental.

Desarrollo del Análisis de Ciclo de Vida del proyecto eco-envolventes

El objetivo por el cual se desarrolló un ACV en el marco del proyecto eco-envolventes fue identificar las mejores opciones de selección de materiales para la construcción del módulo de prueba, a ser construido en la ciudad de Girardot (Colombia). Se buscó entonces combinar una solución de diseño arquitectónico bioclimático, que pudiera asegurar la comodidad térmica al interior del módulo, por medio de una eco-envolvente, con estrategias de diseño de productos ambientalmente orientados, teniendo en cuenta que para la construcción del módulo se generaran los menores



impactos ambientales, a lo largo del ciclo de vida de los materiales seleccionados.

Se discriminaron los componentes de los cuatro módulos propuestos: muros, pisos, cubiertas y otros, entendidos en este análisis como procesos; y se incluyeron algunos materiales sugeridos, que no se han definido aún en un módulo específico y que para efectos de este análisis solo se enuncian como referencia. Se desarrollaron sistemas de registro para el inventario, considerando las dimensiones de cada uno de los materiales, así como sus respectivas especificaciones (peso unitario en kg, cantidades y totales).

La propuesta de materiales incluyó para todos los módulos: el piso, cuya placa de concreto está compuesta por acero de refuerzo, enchape cerámico, afinado de piso y mortero de pega; una

puerta en madera contrachapeada y un marco en madera de baja densidad. Para los demás componentes de los módulos: Módulo 1. Ladrillo tolete común, mortero de pega, bloque de arcilla hueco No. 5, bloque de concreto hueco; para el Módulo 2 se consideraron muros en madera de 2,5 cm de espesor, estructura de madera para los muros con estructura secundaria; el Módulo 3 incluyó muros en fibrocemento de $\frac{1}{2}$ " , estructura en madera para los muros y estructura secundaria. Para el Módulo 4 se trabajaron igualmente muros en fibrocemento, estructura metálica de 4mm para los muros, y para la estructura secundaria lámina de 3mm. Dependiendo del diseño del módulo, para las cubiertas se propuso placa en concreto con acero de refuerzo; estructura con perfiles de acero; estructuras en madera aserrada o en guadua laminada, láminas en fibrocemento impermeabilizadas y tejas de acero.

Las Figuras 1 y 2 representan el desarrollo de los módulos dibujados en *Solid Works*, sobre los que se trabajó con *Sustainability Express*

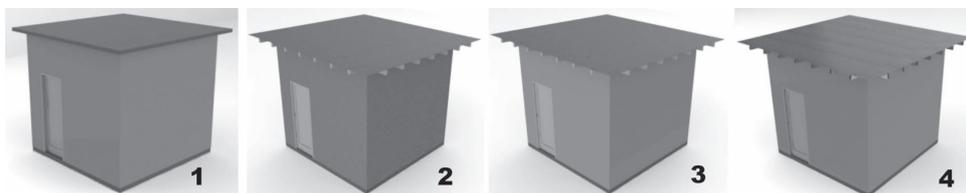


Figura 1. Módulos 1 a 4 (modelados y parametrizados en Solid Works)

Con base en la información generada para cada módulo, se desarrollaron tablas particulares para cada uno, en las que se desagregaron cada uno de los aspectos para así definir las respectivas entradas al sistema de producto.

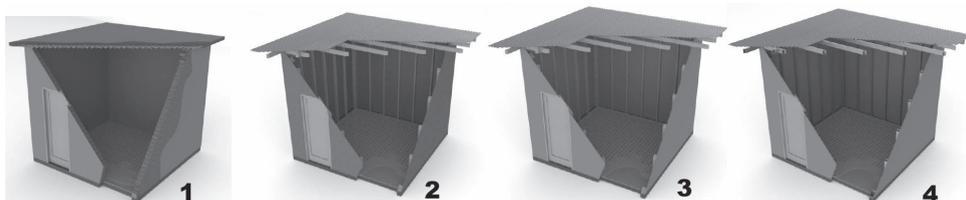


Figura 2. Módulos 1 a 4 (modelados y parametrizados en Solid Works)

Es importante reiterar que, para lograr un nivel de referencia confiable, dado que en nuestro país aún no contamos con indicadores de ciclo de vida ajustados a nuestro contexto, se ha trabajado con información secundaria. Para el caso del proyecto de eco-envolventes se propuso cruzar los resultados que arrojan *Sustainability* y *Ecoindicator 99*, para dar mayor nivel de confiabilidad a los análisis y ofrecer valores de referencia que permitan proponer mejoras, desde el punto de vista ambiental, al diseño del módulo definitivo, o para identificar aspectos favorables en uno y otro que puedan ser cruzados para el desarrollo de una solución final de módulo.

Entonces, la evaluación del impacto se realiza tomando como referencia el análisis

de inventario y teniendo en cuenta aspectos ya mencionados como: para *Ecoindicator 99* se consideran los daños a los recursos, daños a los ecosistemas y daños a la salud humana y para *Solid Works-Sustainability*, se toman la huella de carbono, la acidificación atmosférica, la eutrofización del agua y la energía consumida.

Para cada módulo se incluyó: producción, materiales, transporte, uso (transporte, energía y materiales auxiliares) y desechos. Para cada módulo se estableció un cuadro de síntesis (Tabla 1 y Figura 3).

Tabla 1.

Módulos 1 a 4. Resultados del desarrollo con *Ecoindicator 99*

		INDICADORES			
		Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 4
PRODUCCIÓN	Muro	215106,48	41656,47	32991,95	59202,10
	Piso	29667,73	29667,73	29667,73	29667,70
	Cubierta	79807,19	2017,51	32624,37	2017,50
	Otros	527,4	527,40	527,4	527,40
USO	Cemento	0,00	0,00	0,00	0,00
	Acero	0,00	0,00	0,00	0,00
	Suelo	405,00	405,00	405,00	405,00
	Transporte	15,00	15,00	15,00	15,00
DESECHO	Muro	12043,08	-236,42	10868,02	21979,70
	Piso	-7147,30	-7147,30	-7147,30	-7147,30
	Cubierta	-43071,00	747,70	-3262,02	747,70
	Otros	88,20	88,20	88,20	88,20
		287441,8	67741,29	75042,31	63543,6

Como resultado del procesamiento del inventario con los eco-indicadores por módulo, se evidencia que el Módulo 1 representa la mayor cantidad de milipuntos, lo cual significa que es el módulo que mayor índice negativo representa sobre

los recursos naturales y la salud humana. La producción del concreto, que implica la producción de cemento, obtención de grava y arena, junto con el acero de refuerzo y de acero



necesarios para la estructura de la cubierta y el piso, representan un valor elevado en proporción con otros materiales propuestos para los otros módulos. Si bien al acero se le ha asignado un valor aceptable por su posibilidad de ser reciclado, en la práctica separarlo del concreto se convierte en un proceso que puede presentar un valor desfavorable en el proceso de reciclaje. En contraste, el uso

de materiales como la madera, en el Módulo 2, reduce significativamente los impactos ambientales negativos. En los Módulos 3 y 4, el uso de fibrocemento para muros es menor que en el caso del Módulo 1, pero no alcanza el nivel favorable ambientalmente del Módulo 2, aunque vale destacar que en el caso del muro en fibrocemento, su comportamiento en el ciclo de vida, según los registros, es más favorable en desecho que los demás.

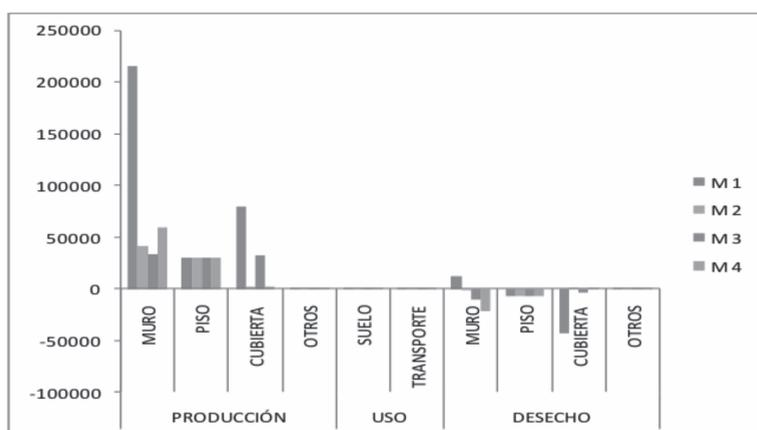


Figura 3. Totales comparativos. Resultados en milipuntos, Módulos 1, 2, 3 y 4 Ecoindicator99/Pré Consultants, Holanda.

De otro lado, la producción de ladrillo también representa un alto valor en milipuntos, debido a la demanda energética para su producción. Es de señalar que en este caso, dado que se trata de un material de construcción característico de las edificaciones en países como Colombia, no tan común en otras latitudes del norte, los datos obtenidos se procesaron a partir de la información obtenida en el país de origen, tomados tanto del software como del Ecoindicator 99.

Un aspecto positivo que vale destacar es la posibilidad de

reciclaje de las estructuras metálicas, lo cual se identifica como un aspecto positivo que supera a otros materiales en cuanto a la fase de disposición final, incluida la madera. Para el segundo componente de esta estrategia de análisis, que combina dos metodologías, se ha trabajado a partir de los diseños básicos de los módulos, los cuales se ajustaron al formato de *Solid Works* para generar los respectivos reportes. Como se mencionó, para el análisis de los impactos ambientales de los módulos y como referencia conceptual, basado en *Sustainability* de *Solid Works*, se trabajó con la acidificación atmosférica, la huella de carbono, la energía total consumida, y la eutrofización del agua. La Tabla 2 presenta los resultados arrojados por el programa *Solid Works Sustainability Express*:

Tabla 2. Resultados del proceso de ACV empleando Solid Works Sustainability Express

MÓDULO 1				
	Huella de Carbono kg CO ₂	Eutrofización del Agua kg PO ₄	Acidificación Atmosférica kg SO ₂	Energía Total Consumida MJ
MURO	22221,98	15,59	81,4	255266,04
PISO	8946,23	6,26	32,32	102788,31
CUBIERTA	8396,86	6,05	29,95	100566,45
OTROS	10,1	0,03	0,14	467,3
MÓDULO 2				
MURO	323,79	0,98	5,78	11901,28
PISO	8946,22	6,26	32,32	102788,31
CUBIERTA	112,68	0,07	0,8	1085,06
OTROS	10,10	0,03	0,14	46,30
MÓDULO 3				
MURO	570962,33	399,57	2066,34	6566996,86
PISO	8909,76	6,23	32,19	102368,08
CUBIERTA	60456,20	42,40	218,10	696185,60
OTROS	10,10	0,03	0,14	467,30
MÓDULO 4				
MURO	574818,77	402,29	2075,07	6610809,04
PISO	8909,76	6,23	32,19	101368,08
CUBIERTA	112,68	0,06	0,79	1085,06
OTROS	10,10	0,03	0,14	467,30

Los resultados se presentan de manera gráfica en las Figuras 5 y 6

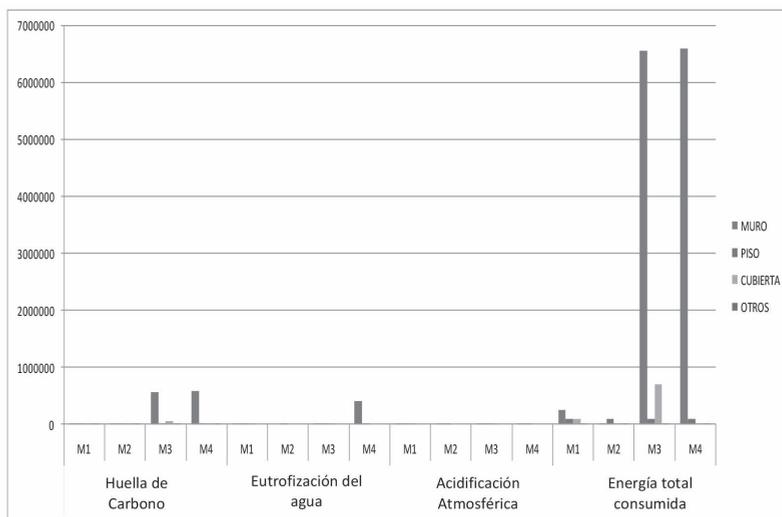


Figura 5. Impactos medioambientales figura comparativa Módulos 1, 2, 3 y 4, según huella de carbono, eutrofización del agua, acidificación atmosférica y energía total consumida (Solid Works Sustainability Express)

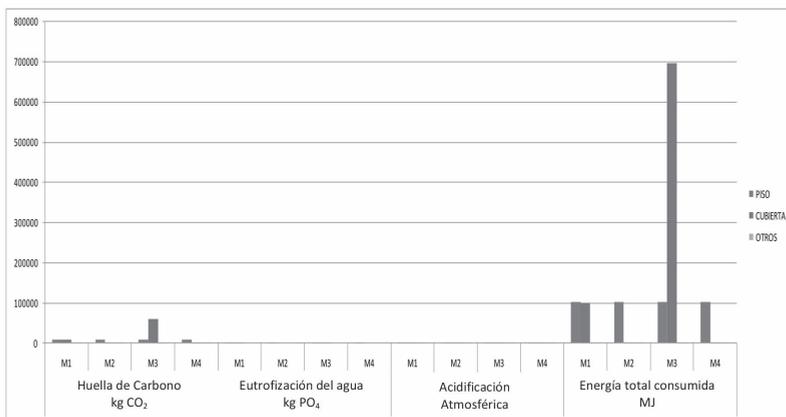


Figura 6. Impactos medioambientales, Figura comparativa Módulos 1, 2, 3 y 4, según huella de carbono, eutrofización del agua, acidificación atmosférica y energía total consumida. Se removió el proceso Muros para evidenciar aspectos en otros procesos. (*Solid Works Sustainability*)

En el cuadro comparativo de totales por impacto, presentado en la Tabla 2 y representado en las Figuras 5 y 6, se aprecia mayor significancia en demanda energética a procesos relacionados con el acero sobre otros materiales en los Módulos 3 y 4, puesto que su producción y reciclabilidad implican igualmente demanda elevada de energía; en este caso no es comparable con los materiales de referencia empleados para el caso del concreto. Evidentemente la madera representa los menores impactos.

Interpretación

El planteamiento del análisis de ciclo de vida del producto para el proyecto de eco-envolventes se orienta hacia la identificación de la combinación de materiales más convenientes para la construcción de un módulo, en el marco de una relación balanceada entre confort térmico e impacto ambiental.

En el marco de los análisis de ciclo de vida de los productos se han desarrollado varias metodologías y herramientas que van desde las ampliamente cualitativas hasta las altamente cuantitativas, partiendo de la rueda de ecodiseño, la matriz MET (por Materiales, Energía y Tóxicos), pasando por los eco-indicadores, hasta el uso de *software* especializado, como *Umberto*, *Sima-pro* o *Gabi*. El planteamiento del proyecto de eco-envolventes consideró el uso de una metodología que combina dos herramientas, una cualitativa y otra cuantitativa, es decir los eco-indicadores y el uso de *software*, en este caso *Solid Works Sustainability* (que toma bases de datos de *Gabi*). No obstante, si bien se considera el uso del *software* en el extremo del análisis cuantitativo, los resultados que arroja por sí solos no son suficientes. Se depende de la disponibilidad de bases de datos confiables, pero sobre todo contextualizados. Para el caso del proyecto de eco-envolventes, el uso de *software* se vio limitado por la falta de información en la base de datos, en particular aquellos referidos en nuestro contexto, lo que obligó a usar materiales de referencia, que permiten aproximaciones

de confiabilidad baja, media y medio-alta, según el caso o el material evaluado. Al observar los resultados, se puede interpretar lo siguiente:

- Teniendo en cuenta que el piso y la puerta presentan los mismos procesos, evidentemente el Módulo 1, en el análisis con eco-indicadores, representa los mayores impactos negativos.
- Los muros, compuestos por mortero y ladrillo, con pañete interior y exterior, son el proceso de mayor impacto en el grupo de los cuatro módulos, seguido por la cubierta en concreto reforzado con acero y recubierta con impermeabilizante.
- Los muros en fibrocemento son los que representan el mayor valor en los impactos negativos, luego de los muros en concreto.
- La cubierta de concreto presenta el mayor impacto, seguida de la de fibrocemento.
- El uso de la madera en estructura representa 3,7 veces menos impacto que el de estructura en acero.

El uso de una unidad funcional es fundamental para definir un estudio comparativo entre los módulos² Es decir, que la información presentada se puede emplear para establecer impactos sobre el ambiente de cada uno de los módulos, lo cual puede orientar hacia mejoras en el diseño de los mismos, pero no es posible definir cuál de los cuatro es más ambientalmente aceptable sobre el otro sin

una unidad funcional que permita desarrollar dicha comparación.

Conclusiones y recomendaciones

El análisis de ciclo de vida del producto aún sigue siendo considerado como enigmático en la medida en que es conceptualizado en términos instrumentales (Heiskanen, 2002). No obstante, se puede prever que los lineamientos expuestos en las normas ISO 14040 e ISO 14044 podrían o deberían convertirse en una práctica rutinaria en las organizaciones (Heiskanen, 2002), incluidas las instituciones educativas. Para el caso de la industria de la construcción, se han desarrollado varios métodos para tratar de identificar procedimientos y decisiones que ayuden al desarrollo de edificaciones ambientalmente amigables. En este sentido, la herramienta de análisis de ciclo de vida del producto también puede contribuir en este objetivo.

En particular, el proyecto de eco-envolventes persigue no solo designar los mejores materiales a ser empleados en la construcción del módulo de prueba, sino también la identificación de las variables que pueden afectar ambientalmente el uso de una vivienda que sea construida con este tipo de tecnología, en términos

⁶ "Las comparaciones entre sistemas se deben realizar sobre la base de las mismas funciones, cuantificadas por las mismas unidades funcionales, en la forma de sus flujos de referencia" (NTC-ISO 14044).

"La unidad funcional define la cuantificación de las funciones identificadas (características de desempeño) del producto. El propósito fundamental de una unidad funcional es proporcionar una referencia a la cual se relacionan las entradas y salidas. Se necesita esta referencia para asegurar que los resultados del ACV son comparables. El carácter comparativo de los resultados de los ACV es particularmente crítico cuando se están evaluando sistemas diferentes, dado que hay que asegurar que estas comparaciones se hacen sobre una base común" (NTC-ISO 14040, segunda actualización).



de confort térmico. Asimismo, en nuestro contexto este tipo de análisis se hace complejo, en la medida en que no se cuenta con la suficiente información para asignar indicadores ambientales locales a los componentes del sistema de producto.

No obstante, este tipo de trabajos permite tener referencias sobre las experiencias adelantadas en otros contextos, en un caso particular, sobre lo cual se pueden definir nuevos trabajos, con miras a mejorar lo aquí presentado y a abrir e impulsar espacios de investigación orientados a incluir indicadores locales en las bases de datos.

Si bien los resultados se basan en aproximaciones teóricas basadas en los indicadores trabajados con *Ecoindicator 99* y con *Solid Works Sustainability Express*, los análisis realizados permiten afirmar que la confiabilidad de los mismos puede ser admitida para toma de decisiones en el momento de la fase inicial de diseño del módulo. No obstante, como se ha

afirmado, se requiere mayor investigación en el desarrollo de indicadores locales, así como de mejor entrenamiento en el proceso de trabajo con la herramienta de ACV, pues su uso se limita en este momento a expertos con trayectoria en este campo. Los resultados de este trabajo no permiten aún proponer generalizaciones teóricas (Yin, 2009), pero pueden ser tomadas como referencia para trabajos cualitativos que permitan este tipo de desarrollos teóricos y proyectar líneas de trabajo hacia un norte cuantitativo.

No cabe duda de que el análisis de ciclo de vida del producto se ha posicionado como herramienta clave para evaluar ambientalmente los productos (Estrela, 2011), incluidos aquellos de los que se sirve la industria de la construcción (Lewandowska, 2011; Poudalet, Chayer, Margni, Pellerin, & Samson, 2012; von Bahr & Steen, 2004). No obstante, aún prevalecen varios aspectos que demandan especial atención, como por ejemplo la definición de la unidad funcional o el planteamiento de los límites del sistema sobre el que se realiza el análisis. De momento, en nuestro contexto se depende de la capacidad para proponer estrategias de trabajo con las herramientas disponibles, que puedan ser adaptadas y aceptadas por todas las partes interesadas.



Referencias Bibliográficas

- Barney, J. (1991). *Firm Resources and Sustained Competitive Advantage*. *Journal of Management*, 17(1), 99.
- Boks, C. (2006). The soft side of ecodesign. *Journal of Cleaner Production*, 14(15–16), 1346-1356. doi: 10.1016/j.jclepro.2005.11.015
- De Bakker, F. G. A., Fisscher, O. A. M. & Brack, A. J. P. (2002). *Organizing product-oriented environmental management from a firm's perspective*. *Journal of Cleaner Production*, 10(5), 455-464. doi: 10.1016/s0959-6526(02)00012-4
- De Lange, D. E., Busch, T. & Delgado-Ceballos, J. (2012). *Sustaining Sustainability in Organizations*. *Journal of Business Ethics*, 110(2), 151-156.
- Estrela, S. (2011). *Life Cycle Thinking in Canada*. *Journal of Industrial Ecology*, 15(4), 479-482. doi: 10.1111/j.1530-9290.2011.00363.x
- Fowler, S. J. & Hope, C. (2007). *Incorporating sustainable business practices into company strategy*. *Business Strategy & the Environment* (John Wiley & Sons, Inc), 16(1), 26-38. doi: 10.1002/bse.462
- Hart, S. L. (1995). *A Natural-Resource-Based View of the Firm*. *The Academy of Management Review*, 20(4), 986-1014.
- Hart, S. L. (1997). Beyond Greening: Strategies for a Sustainable World. *Harvard Business Review*, 75(1), 66-76.
- Hart, S. L., & Dowell, G. (2011). Invited Editorial: A Natural-Resource-Based View of the Firm: Fifteen Years After, Editorial, *Journal of Management*, pp. 1464-1479. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=65152028&lang=es&site=ehost-live>
- Heiskanen, E. (2002). *The institutional logic of life cycle thinking*. *Journal of Cleaner Production*, 10(5), 427-437. doi: 10.1016/s0959-6526(02)00014-8
- Hossaini, N. & Hewage, K. (2012). *Sustainable Materials Selection for Canadian Construction Industry: An Emergy-Based Life-Cycle Analysis (Em-LCA) of Conventional and LEED Suggested Construction Materials*. *Journal of Sustainable Development*, 5(1), 2-12.
- ISO. (2007a). NTC-ISO 14040. *Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y Marco de Referencia* (pp. 24). Bogotá: ICONTEC.
- ISO. (2007b). NTC-ISO 14044. *Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y Directrices. Requisitos del Ciclo de Vida*. (pp. 50): ICONTEC.
- Lewandowska, A. (2011). *Environmental life cycle assessment as a tool for identification and assessment of environmental aspects in environmental management systems (EMS) part 1: methodology*. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(2), 178-186.



- Lin, H. (2012). *Cross-sector Alliances for Corporate Social Responsibility Partner Heterogeneity Moderates Environmental Strategy Outcomes*. *Journal of Business Ethics*, 110(2), 219-229. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s10551-012-1423-2>
- Poudelet, V., Chayer, J., Margni, M., Pellerin, R. & Samson, R. (2012). *A process-based approach to operationalize life cycle assessment through the development of an eco-design decision-support system*. *Journal of Cleaner Production*, 33(0), 192-201. doi: 10.1016/j.jclepro.2012.04.005
- Sharma, S. & Vredenburg, H. (1998). *Proactive Corporate Environmental Strategy and the Development of Competitively Valuable Organizational Capabilities*. *Strategic Management Journal*, 19(8), 729-753.
- Suh, S. & Hupples, G. (2005). *Methods for Life Cycle Inventory of a product*. *Journal of Cleaner Production*, 13(7), 687-697. doi: 10.1016/j.jclepro.2003.04.001
- Van Berkel, R., Van Kampen, M. & Kortman, J. (1999). *Opportunities and constraints for Product-oriented Environmental Management Systems (P-EMS)*. *Journal of Cleaner Production*, 7(6), 447-455. doi: 10.1016/s0959-6526(99)00232-2
- Von Bahr, B. & Steen, B. (2004). *Reducing epistemological uncertainty in life cycle inventory*. *Journal of Cleaner Production*, 12(4), 369-388. doi: 10.1016/s0959-6526(02)00197-x
- Wernerfelt, B. (1984). *A Resource-Based View of the Firm*. *Strategic Management Journal*, 5(2), 171-180.
- Yin, R. K. (2009). *Case Study Research. Design and Methods* (Fourth Edition ed.): Sage Publications inc., USA.