

**UNIVERSIDAD DE SONORA**  
**DIVISIÓN DE INGENIERIA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**Estrategias sustentables para el  
diseño y operación de saunas**

**TRABAJO ESCRITO**

Que para obtener el GRADO de  
**MAESTRÍA EN SUSTENTABILIDAD**

**Presenta:**

**Daniela Castillo Bañuelos**

**Director de Tesis:**

**Dr. Javier Esquer Peralta**

**HERMOSILLO, SONORA**

**FEBRERO DEL 2016**

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



“El saber de mis hijos  
hará mi grandeza”



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



# CARTA DE APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL JURADO



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

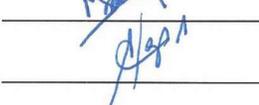
Universidad de Sonora  
División de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Industrial  
Posgrado en Sustentabilidad  
*Maestría en Sustentabilidad*  
*Especialidad en Desarrollo Sustentable*

Hermosillo, Sonora a 25 de Enero del 2016

**Dra. Nora Elba Munguía Vega**  
**Coordinadora de Programa**  
**Maestría en Sustentabilidad**  
**Presente.-**

Por este conducto, hago de su conocimiento que estoy de acuerdo que se realice el examen de posgrado del alumno (a) Daniela Castillo Bañuelos con Expediente 214190027, el cual será el día 03 de Febrero del 2016 en el aula 102, Edificio 5R a las 18:30 horas.

## Relación de Jurados:

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE:	Dr. Javier Esquer Peralta	
SECRETARIO:	Dr. Luis Eduardo Velázquez Contreras	
VOCAL:	M.A. Maritza Moreno Grano	
SUPLENTE:	M.I. Miguel Ángel López Arríquivez	

**ATENTAMENTE**

**MIEMBROS DEL JURADO**



## RESUMEN

En el diseño arquitectónico, la toma de decisiones acerca de los materiales para la construcción es un tema de suma importancia. Desde la perspectiva de la sustentabilidad, la eficiencia de los recursos, el confort y la salud humana están estrechamente vinculados. El objetivo de este trabajo es presentar los resultados de un estudio cuantitativo y exploratorio realizado con los materiales necesarios para construir un baño sauna desde la perspectiva de la sustentabilidad en un centro deportivo en Hermosillo, Sonora. Se llevó a cabo una comparativa de los análisis del ciclo de vida de los materiales aislantes para los muros (poliestireno expandido, poliestireno extruido y un aislamiento hecho de materiales reciclados), así como un ejercicio exploratorio de calor y humedad en tres tipos de maderas (cedro, teca o pino) para el revestimiento de la pared interior. Además, se hizo un análisis económico de los distintos materiales. Los resultados proporcionan una base en el proceso de toma de decisiones para arquitectos, ingenieros y constructores interesados en el uso de materiales que, además de cumplir con la funcionalidad, también tengan en cuenta la eficiencia energética y el medio ambiente.

## **ABSTRACT**

In the architectural design, making decisions about materials for construction is a paramount issue. From a sustainability perspective, resource efficiency, comfortability and human health are closely linked. The aim of this project is to present results from a quantitative and exploratory study conducted for materials needed to build a sauna from sustainability perspective in a sport center in Hermosillo, Sonora. A comparison from life cycle assessments of insulating materials for walls (expanded polystyrene, extruded polystyrene, and an insulation made of recycled materials) was carried out as well as an exploratory exercise for heat and moisture in three types of woods (cedar, teak or pine) for the interior wall lining. Additionally, an economic analysis of the different materials was made. The results provide a basis in a decision-making process for architects, engineers and builders interested in using materials that besides functionality, energy efficiency and environmental issues are also taken into account.

# ÍNDICE

## Índice de Contenido.

<u>Descripción</u>	<u>Página</u>
<u>I. Introducción</u>	1
<u>II. Objetivo General</u>	2
<u>III. Objetivos Específicos</u>	2
<u>IV. Análisis Literario</u>	3
<u>V. Metodología</u>	19
<u>VI. Resultados</u>	21
<u>VII. Discusión</u>	37
<u>VIII. Conclusiones</u>	39
<u>IX. Recomendaciones</u>	40
<u>X. Referencias</u>	41

## Índice de Tablas

<u>Tabla</u>	<u>Descripción</u>	<u>Página</u>
1	Temperatura recomendable por áreas	3
2	Características de los materiales sustentables	15
3	Conductividad térmica EPS	22
4	Conductividad térmica XPS	23
5	Conductividad térmica aislante de materiales de reúso	24
6	Ingredientes del Aislante de materiales de reúso	25
7	Impactos ambientales de EPS	27
8	Impactos ambientales de XPS	27
9	Condiciones iniciales de las muestras	30
10	Pérdida de longitud por calentamiento en muestras	31
11	Pérdida de masa por calentamiento en muestras	31
12	Ganancia de longitud por humedad en muestras	32
13	Ganancia de masa por humedad en muestras	33
14	Costos de materiales aislantes por cada metro cuadrado	33
15	Costos de maderas de recubrimiento para un baño sauna	34
16	Costos totales para un baño sauna	34

## Índice de Figuras

<u>Figura</u>	<u>Descripción</u>	<u>Página</u>
1	Temperatura y humedad recomendable (área sombreada) para baño sauna	4
2	Impacto ambiental del sector de la construcción	9
3	Diagrama de elementos a considerar en la construcción sustentable	10
4	Marco para la evaluación de la sustentabilidad de la industria de la construcción	12
5	Impacto al medio ambiente de los materiales para construcción	13
6	Planta arquitectónica del baño sauna	21
7	Poliestireno Expandido	22
8	Poliestireno Extruído	23
9	Aislante de materiales de reúso	24
10	Principales fases de producción del aislante de materiales de reúso	28
11	Resultados obtenidos en Simapro® para aislante de materiales de reúso	29
12	Comparativa de materiales aislantes (unidad funcional = 1 m <sup>2</sup> )	29
13	Estado inicial de muestras sin barniz	32
14	Estado final de muestras sin barniz	32
15	Estado inicial de muestras con barniz	33
16	Estado final de muestras con barniz	33
17	Vista 3D del baño sauna	35
18	Vista interior del baño sauna	36

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente existen materiales aislantes muy eficientes, sin embargo el impacto que la producción de estos provoca al ambiente es alto, considerando que la industria de la construcción es uno de los principales consumidores de recursos es importante buscar la eficiencia en el uso de los mismos. Este documento muestra materiales y técnicas de construcción con un enfoque sustentable para el diseño de baños saunas, utilizando medidas pasivas. Se efectuó una revisión de un proyecto arquitectónico existente, se realizó un listado de posibles materiales aislantes y de recubrimiento de muros interiores. Después se llevó a cabo un análisis comparativo de los materiales aislantes que son los que permiten aprovechar al máximo la energía calorífica obtenida. Además de dos aislantes comerciales, se analiza también un aislante hecho a base de materiales de reúso el cual presenta cualidades de conductividad y durabilidad.

Es importante mencionar que este proyecto es parte de un complejo deportivo, que consta de diversas áreas como son alberca, canchas, vestidores, regaderas, etc. En este centro se están implementando otras técnicas pasivas para la obtención y utilización de energía e iluminación con el fin de lograr provocar el menor impacto al medio ambiente pero también ofrecer un servicio de calidad a los usuarios del lugar.

Se efectuó una comparativa de la funcionalidad de los tres aislantes por medio de su conductividad térmica, la cual es determinante en este tipo de materiales. Después por medio del software Simapro® se realizó un análisis de ciclo de vida (ACV) del aislante de materiales de reúso y este se comparó con un ACV previo del poliestireno expandido (EPS) y del poliestireno extruido (XPS), esto con el fin de obtener resultados sobre el impacto ambiental de los tres aislantes y sustentar la decisión del aislante seleccionado.

Por otro lado, se realizó también un ejercicio exploratorio para determinar el comportamiento al calor y a la humedad de tres tipos de madera (cedro, teca y pino) para el recubrimiento interior de los muros. El material comúnmente utilizado es madera de teca, pero considerando que tiene un costo elevado y que además no es un producto disponible en el lugar, se optó por comparar su comportamiento con otras dos maderas: cedro y pino, con el fin de respaldar la decisión del tipo de madera a utilizar.

Aunado a esto se realizó un análisis de costos de cada uno de los materiales individualmente y en conjunto como sistema, es decir costos totales de la construcción de la totalidad del baño sauna con cada aislante y con cada tipo de madera.

## **II. OBJETIVO GENERAL**

Contribuir a la edificación de baños sauna, desde el diseño hasta su operación, con estrategias constructivas sustentables.

## **III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Llevar a cabo una revisión de la literatura del estado del arte sobre el diseño y operación de saunas, materiales y sistemas constructivos desde un enfoque sustentable, así como otros temas relacionados.
- Llevar a cabo un comparativo del Ciclo de Vida de los materiales aislantes.
- Examinar el comportamiento ante calor y humedad en maderas para recubrimiento interior de muros.
- Diseñar estrategias constructivas de un baño sauna en base a los principios de arquitectura sustentable.

## IV. ANÁLISIS LITERARIO

### 4.1 Baño Sauna

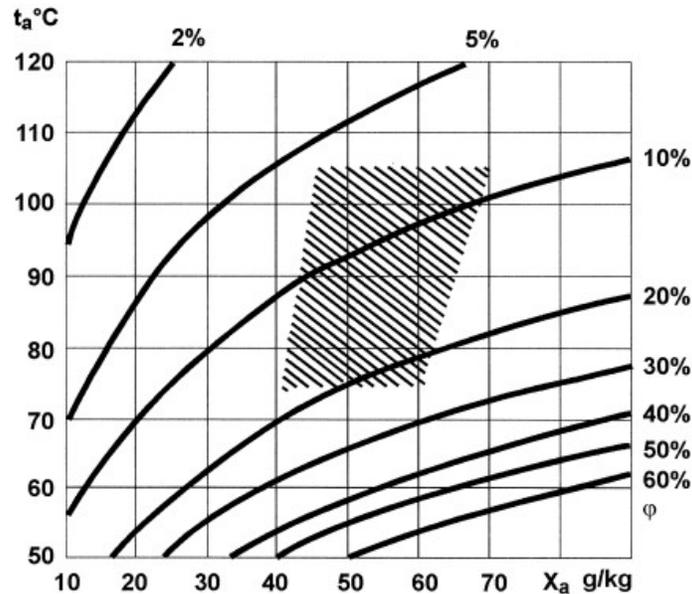
La sauna es un baño de origen finlandés a base vapor de agua arrojado sobre piedras calientes, este se conforma por una habitación de paneles de troncos o de madera con un calentador de rocas; los bañistas sudan en los bancos de madera situados por encima del nivel del suelo y modifican la humedad del aire lanzando vasos de agua en las rocas del calentador (Kauppinen 1997). La pequeña habitación anteriormente mencionada, debe ser calentada (ver tabla 1), esta tiene diversos objetivos que van desde el baño tradicional hasta la relajación física y mental (Cankar 2011). Por otra parte es importante considerar que las dimensiones de la habitación deben ser de al menos 3 m<sup>2</sup> para fomentar el equilibrio correcto entre el calor, la humedad y la ventilación, como se mencionó la temperatura recomendada es de 80°C y puede llegar hasta los 100°C en el nivel de la cara del bañista y 30°C a nivel del suelo; el aire debe tener una humedad relativa de 10% a 20% (40 a 70 g. de vapor de agua por kg. de aire) (ver figura 1) (Hannuksela & Ellahham 2001).

**Tabla 1. Temperatura recomendable por áreas**

ESPACIO	TEMPERATURA RECOMENDADA	AREA MÍN. POR USUARIO
Cambiadores	20-22°C	0.8-1.0 m <sup>2</sup>
Sanitarios	20-22°C	0.8-1.0 m <sup>2</sup>
Piscina/Regadera	24-26°C temp. Agua: 18-20°C	1.0-1.8 m <sup>2</sup>
Terraza al aire libre	No disponible	0.3-0.6 m <sup>2</sup>
Sauna	80-90°C	0.5-1.8 m <sup>2</sup>
Cuarto de masajes	20-22°C	6.0-8.0 m <sup>2</sup> /cama

Fuente: Neufert (2007)

Se sabe que este tipo de baños ha funcionado como: lugar de nacimiento, baño, para la relajación física y psicológica, entre otras cosas (Harjulin 2012). Para su correcto funcionamiento la sauna consta de ciclos repetidos de la exposición a calor y frío, la duración de la estancia en la sala caliente depende de las sensaciones propias de cada bañista de confort; la duración suele ser entre cinco y 20 minutos (Kukkonen-Harjula & Kauppinen 2006). Es importante considerar que el principal beneficio de los baños de vapor es su uso para eliminar toxinas por medio de la transpiración, el cuerpo se desintoxica de algunos metales pesados y de otras sustancias y elementos como alcohol, nicotina y sodio, además mejora las condiciones de la piel pues funciona como método de limpieza a profundidad (SADM-IPD 2011).



**Figura 1. Temperatura y humedad recomendable (área sombreada) para baño sauna**

**Nota:** La temperatura recomendada sauna ( $t_a$  °C) es de entre 80 °C y 100 °C.  
La humedad recomendada ( $X_a$  g/kg) es de entre 40 y 70 g de vapor de agua por kg de aire, con una humedad relativa ( $w$  ó  $\phi$ ) entre 10% y 20%.

Fuente: Hannuksela (2001)

Existen factores específicos que definen diferentes tipos de baños saunas, hay cuatro tipos distintos y se enlistan a continuación (Society 2014):

- Sauna finlandesa tradicional
- Sauna seco
- Baño de vapor / sauna de vapor / baño turco
- Sala de infrarrojos / sala de terapia de calor / sauna de infrarrojos

Durante el último medio siglo, una cantidad considerable de datos de investigación en baños sauna se ha originado sobre todo de Alemania y Finlandia, sin embargo durante los últimos 10 años, los experimentos innovadores que investigan nuevos usos terapéuticos del baño sauna se han realizado en Japón (Kukkonen-Harjula & Kauppinen 2006). Cabe mencionar que el baño sauna de los tiempos modernos conserva las mismas propiedades que conocían los pueblos primitivos nórdicos, aunque su diseño ha evolucionado hasta llegar a modelos realmente elegantes y espectaculares, los actuales pueden construirse con ventanas, puertas de cristal, calefactores bajo los bancos, techos en forma de cúpula, con diseños y formas especiales, en diversos colores exteriores, etcétera (Freixanet\_Wellnes\_Projects n.d.).

## **4.2 Eficiencia térmica, energética y de recursos en la construcción.**

Los edificios son entidades complejas, esto se manifiesta en el hecho de que contienen muchos componentes, dan lugar a numerosas salidas de energía y reúnen muchos factores con diferentes demandas; son económicamente importantes y tienen ramificaciones culturales, sociales y ambientales; esto puede traer dificultades para alcanzar el objetivo fundamental de la sustentabilidad (Warnock 2007). Es por esto que los contratistas deben diseñar sus operaciones de construcción para ser más eficiente el uso de la energía y el agua, por lo tanto, el equipo y los materiales de construcción deben ser diseñados para tal fin; contratistas junto con arquitectos e ingenieros también deben colaborar y coordinar con equipo de construcción y fabricantes de materiales para proporcionar las herramientas necesarias para las operaciones de construcción sustentable (Mezher 2011). En el mismo sentido es particularmente importante considerar que las construcciones de bajo consumo a veces sólo reducen el uso de energía en funcionamiento (energía consumida durante la vida de un edificio), mientras que la energía necesaria para la fabricación de los materiales (denominados energía incorporada) ha aumentado a un punto en el que la balanza puede ser a veces desfavorable (Sieffert, Huygen & Daudon 2013).

En la sociedad actual, la cuestión de la sostenibilidad del medio ambiente está adquiriendo mayor relevancia política y económica, el equilibrio justo debe ser encontrado para mantener niveles adecuados de desarrollo sin despilfarrar los recursos disponibles; la búsqueda de este equilibrio, unido a una cada vez mayor demanda de energía, está marcando el comienzo de una nueva forma de desarrollo urbano (Blanco et al. 2014). La situación ambiental actual requiere una mayor investigación en eficiencia energética y ahorro de energía en el entorno construido, es bien sabido que la reducción de los recursos de combustibles convencionales y el aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> crean efecto invernadero (Bojić, Miletić & Bojić 2014). Así mismo la utilización eficiente de los recursos energéticos renovables, especialmente la energía solar, cada vez se está considerando más como una solución prometedora para el calentamiento global y un medio para lograr un desarrollo sostenible para los seres humanos, considerando que el Sol libera una enorme cantidad de energía de radiación a su entorno (Tian & Zhao 2013).

Es importante considerar lo mencionado por Taylor, Counsell & Gill (2013) "El aumento de la eficiencia energética es la forma más rápida y menos costosa de hacer frente a la seguridad energética, el medio ambiente y los problemas económicos". En este sentido, para reducir el consumo de energía y sus efectos sobre el clima, son necesarias varias

estrategias, incluyendo la reducción de la demanda de energía y el aumento de la eficiencia energética; en este contexto, el rendimiento de la energía térmica de la envolvente (superficies externas y aislantes) del edificio es un aspecto muy significativo ya que el consumo energético y la eficiencia térmica son factores que van de la mano (Morrissey & Horne 2011).

A su vez el análisis térmico se ha definido por la Confederación Internacional de Análisis Térmico (ICTA) como un término general que abarca una variedad de técnicas que graban los cambios físicos y químicos que ocurren en una sustancia con los cambios de temperatura, la aplicación del análisis térmico a los materiales de construcción es importante por el hecho de que estos sometidos a este tipo de cambios y su comportamiento físico y químico tiene repercusiones importantes (Ramachandran et al. 2002) .

Es importante la implementación de estrategias de diseño bioclimático para acondicionamiento térmico de edificios ya que esto trae consigo la reducción en el consumo de combustibles fósiles, es bien sabido que el uso de la energía en el ambiente construido es, sin lugar a dudas, uno de los aspectos esenciales a ser abordados por planificadores y diseñadores para alcanzar en medianos y largos plazos la sostenibilidad energética y ambiental de los medios urbanos (Arboit, Arena & de Rosa 2008). Es bien sabido que el problema de la eficiencia térmica abarca todas las zonas geográficas, y conduce a consumos de energía muy altos para compensar las pérdidas ocasionadas por deficiencias en las envolventes (cubiertas exteriores) de los edificios, y en muchos casos también por la ineficiencia en los artefactos, en zonas cálidas, por las mismas ineficiencias en las envolventes, la demanda es muy alta en verano para mantener el acondicionamiento de aire y niveles apropiados de confort (González 2008). La eficiencia energética de los edificios se evaluará no sólo sobre la base de la demanda de calefacción, sino también de acuerdo a la demanda de energía primaria, por lo tanto, las propiedades ecológicas de los materiales de construcción para toda la evaluación se convierte en esencial (Melo et al. 2012).

A su vez muchas tendencias actuales en la construcción de edificios sostenibles están remontándose a los tiempos previos al uso intensivo de la energía, donde conceptos como la orientación del sitio, la ventilación cruzada, protección solar y paisajismo jugaron un papel clave en la consecución de confort en el hogar (Dixon, Richman & Pressnail 2012). Así mismo, los nuevos edificios se consideran un blanco fácil para la implementación de mejoras de eficiencia energética rentables utilizando las tecnologías existentes, por lo tanto,

mejorar el rendimiento térmico de la envolvente del edificio debe ser una prioridad en la construcción de nuevas viviendas eficientes energéticamente (Taylor, Counsell & Gill 2013).

El aumento de clientes y el conocimiento del equipo de diseño sobre temas ecológicos, a un nivel en el que estos temas se clasifiquen como factores prioritarios, es un precursor para un mayor desarrollo de edificios ambientalmente benignos (Ball 2002). De la misma manera otros factores, como los precios más altos de energía, aumento de los costos de los materiales de construcción, y los incentivos regulatorios, están impulsando el mercado de la edificación sustentable para crecer y expandirse (Robichaud & Anantatmula 2010).

### **4.3 Construcción y sustentabilidad**

La primera definición de construcción sustentable fue propuesta por Charles Kibert durante la Primera Conferencia Internacional sobre Construcción Sustentable en Tampa, 1994: *“construcción sustentable es la creación y gestión responsable de un entorno construido saludable basado en los recursos eficientes y principios ecológicos”* (Du Plessis 2007).

El principal objetivo de la práctica de la construcción sustentable es establecer un equilibrio entre el desempeño económico, social y ambiental en la ejecución de proyectos de construcción (Shen et al. 2010). Así mismo la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) ha identificado cinco objetivos para construcciones sustentables (Zabihi, Habib & Mirsaeedie 2012):

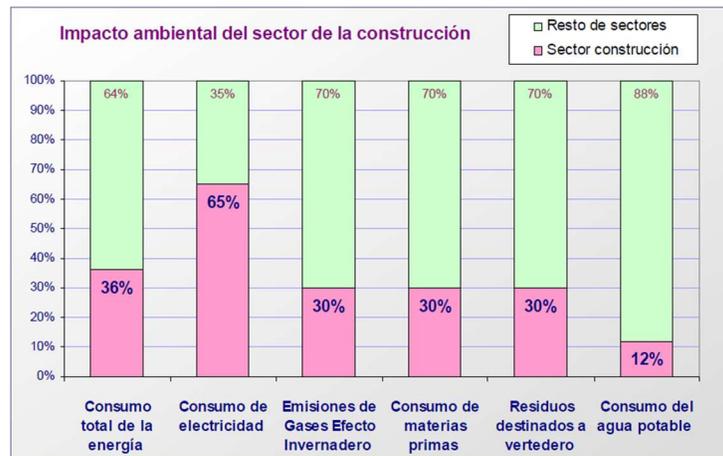
- Eficiencia de los recursos
- Eficiencia energética (incluyendo la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero)
- Prevención de la contaminación (incluyendo calidad del aire interior y reducción de ruido)
- Armonización con el medio ambiente (incluyendo la evaluación ambiental)
- Enfoques integrados y sistémicos (incluyendo sistemas de gestión ambiental)

En la última década los problemas sobre sustentabilidad han sido ampliamente discutidos especialmente en la industria de la construcción debido al creciente número en la población y a la densidad urbana, por lo que actualmente se debe cumplir con la demanda de grandes proyectos de infraestructura (Rooshdi et al. 2014). Los asentamientos urbanos afectan a los ecosistemas locales, el aire, el agua y la calidad del suelo, y los patrones de transporte de las comunidades, lo que tiene un impacto adicional sobre la sustentabilidad de nuestra

sociedad (Augenbroe et al. 1998). La construcción sustentable puede hacer una gran diferencia con respecto a la sustentabilidad del medio ambiente mundial, en particular mediante una reducción drástica del uso de recursos naturales y materiales de alto consumo de energía, como el cemento, el acero, agregados y aluminio (Du Plessis 2002).

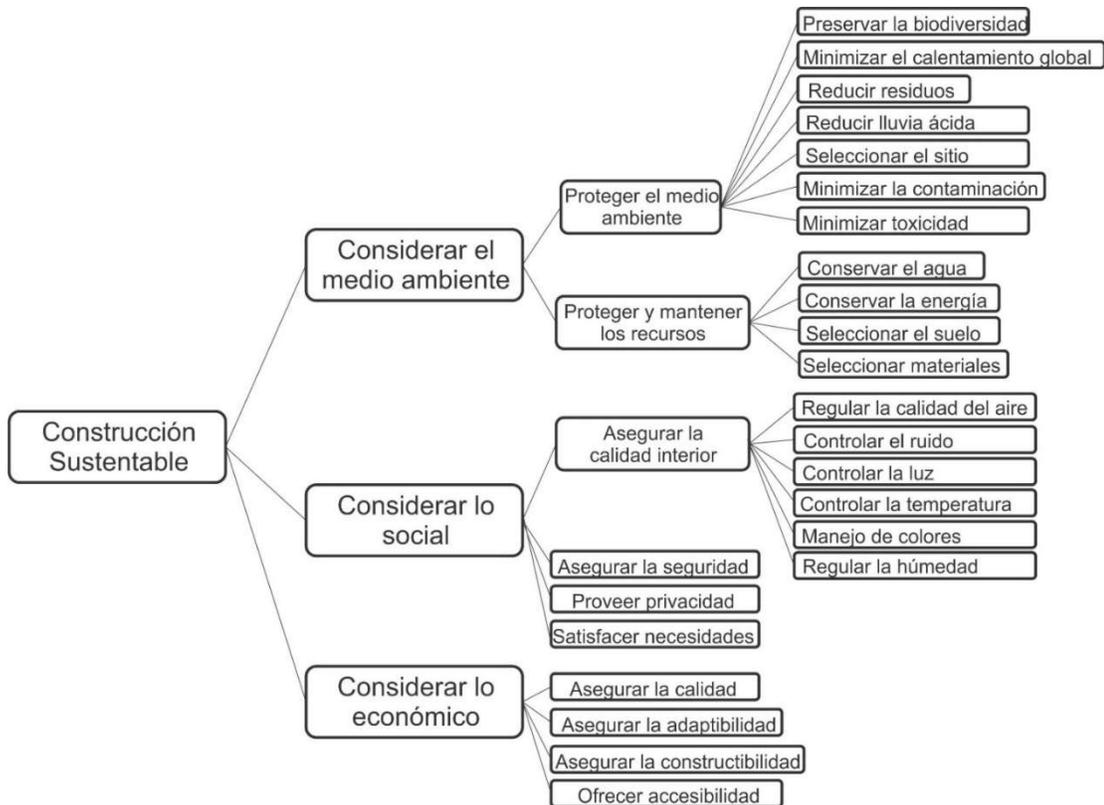
Actualmente la construcción de edificios utiliza una sexta parte de la extracción mundial de agua dulce, una cuarta parte de las cosechas de madera y dos quintas partes de los flujos de materia y energía, es por esto que es necesario que la industria de la construcción adopte el comportamiento medioambiental como uno de sus principios rectores así como la eficiencia económica y los principios de la productividad (Augenbroe et al. 1998). En el mismo sentido, la firma española CYPE Ingenieros, S.A. (n.d.), señala que el sector de la construcción tiene un impacto del 65% del consumo de energía eléctrica y un 30% de las emisiones de gases de efecto invernadero, como se observa en la figura 2. La necesidad de minimizar los impactos negativos de las actividades de construcción está aumentando la presión sobre las organizaciones de construcción, estas deben adoptar estrategias y acciones ambientalmente sustentables además de ser proactivas en el proceso de diseño y construcción (Akadiri, Peter Oluwole & Fadiya 2013).

Para alcanzar los objetivos de construcción sustentable se requiere que esta industria intensifique sus esfuerzos y avance hacia un modo de conocimiento intensivo, de aquí que los objetivos de sustentabilidad sólo pueden lograrse si las actividades de construcción se informan de los nuevos recursos de conocimiento (Shelbourn et al. 2006). La falta de información sobre la construcción sustentable y sus soluciones son un gran obstáculo que hay que superar, para esto se requieren intervenciones en todos los niveles de la educación; también es necesario crear mejores mecanismos para permitir la transferencia de conocimientos desde los centros de investigación al mercado (Du Plessis 2002). Para la reducción de residuos, una solución prometedora es la de reutilizar materiales, pero esta práctica está fuertemente asociada con la construcción de bajo nivel económico y hay que llevar a cabo un cambio radical de mentalidad hacia la sustentabilidad, esto podría ser posible a través de una educación adecuada de los próximos ingenieros y arquitectos (Sieffert, Huygen & Daudon 2013).



**Figura 2. Impacto ambiental del sector de la construcción**  
 Fuente: CYPE Ingenieros, S.A. (n.d.)

Dentro del marco del desarrollo sustentable, la construcción es de alta importancia económica y tiene fuertes impactos ambientales y sociales, en donde los niveles actuales de consumo de los países industrializados propician la mejora de las prácticas en este sector para reducir al mínimo sus efectos negativos en el medio ambiente natural (Sev 2009). Para que los países en desarrollo avancen en esa dirección, se requiere un enfoque doble: primero es necesario crear un sector constructivo local, capaz y viable; en segundo lugar, es necesario asegurar que el sector sea capaz de responder a las demandas de las actividades para estos países (Du Plessis 2007). La práctica de la construcción sustentable se refiere a varios métodos en el proceso de implementación de los proyectos de construcción que impliquen menos daño al medio ambiente (es decir, la prevención de la producción de residuos), el aumento de la reutilización de los residuos en la producción de material de construcción (es decir, la gestión de residuos), beneficioso para la sociedad, y rentable para la empresa (Shen et al. 2010). Con el fin de ilustrar el proceso de la construcción sustentable se muestra la figura 3 (Al-Yami & Price 2006).



**Figura 3. Diagrama de elementos a considerar en la construcción sustentable**

Fuente: Al-Yami (2006).

La sustentabilidad es un objetivo importante, pero sólo se puede alcanzar con el esfuerzo de todos los involucrados; para lograr un impacto significativo, esta debe ser incorporada en todo el ciclo de vida del proyecto de construcción, porque los diferentes aspectos ambientales, sociales y económicos entran en juego en todas las diferentes etapas del proyecto (Zeng, Tian & Shi 2005). La creación de un entorno construido sustentable en los países en desarrollo requiere un enfoque diferente; no sólo las prioridades, capacidades y niveles de cualificación son diferentes, también existen diferencias culturales, la distinta visión del mundo de los países desarrollados y los países en desarrollo tienen un impacto en la comprensión y la aplicación del desarrollo sustentable en la construcción (Du Plessis 2002). Considerando el rápido ritmo de urbanización experimentado por la mayoría de los países en desarrollo, y la aceleración del desarrollo de la infraestructura, hay una necesidad real de la urgencia en la introducción de prácticas de construcción sustentable en el mundo en desarrollo (Du Plessis 2007).

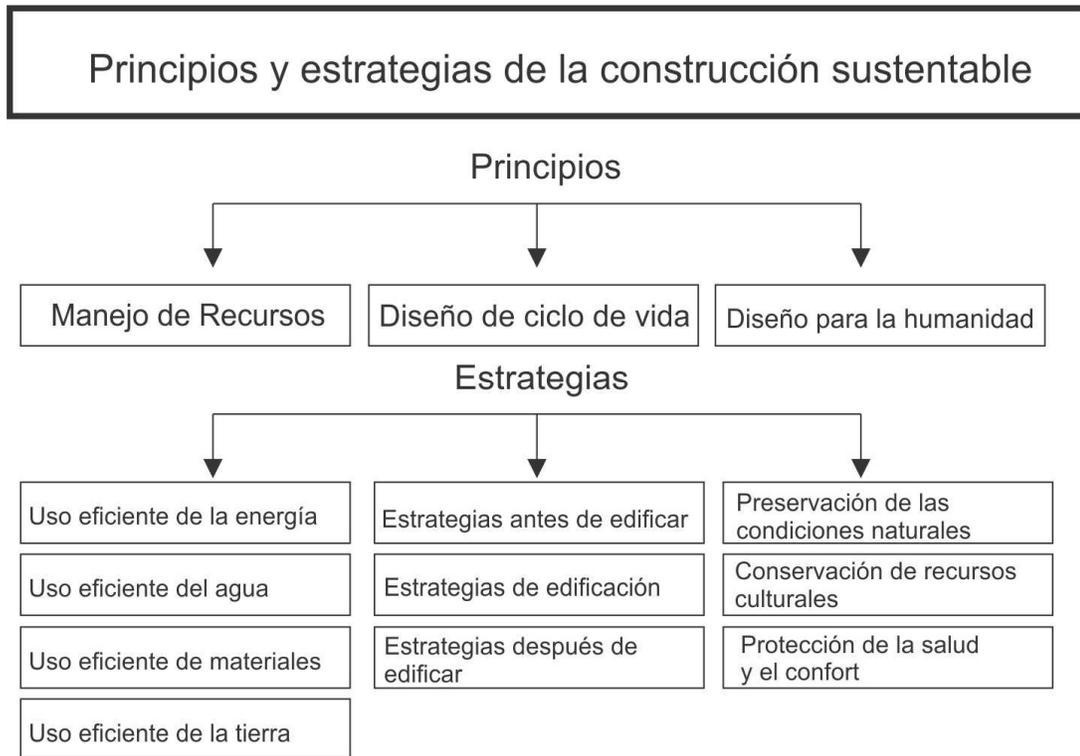
Por otra parte, la creciente toma de conciencia del potencial de la construcción sustentable para impactar positivamente en las cuestiones medioambientales está impulsando la construcción verde; como resultado, los gobiernos locales están adoptando las normas y reglamentos de este tipo de construcción, la prestación de permisos e incentivos financieros para el desarrollo sustentable (Robichaud & Anantatmula 2010). Aunque una construcción verde se define como aquella con una alta eficiencia en el uso de energía, agua y materiales además de la reducción del impacto sobre la salud humana y el medio ambiente en su ciclo de vida completo (Albino & Berardi 2012); cabe mencionar que para efectos de este estudio los términos construcción verde y construcción sustentable se toman como equivalentes. Aunado a esto los edificios verdes también tienen impactos sociales en la salud y el bienestar de los ocupantes del edificio, las características de diseño que promueven la sustentabilidad se han traducido en un menor ausentismo y mayores tasas de productividad entre los empleados (Robichaud & Anantatmula 2010).

Las decisiones acerca de la sustentabilidad y otros retos estratégicos a largo plazo requieren de un fuerte compromiso por parte de las altas esferas del liderazgo de las empresas hacia el medio ambiente (Akadiri, Peter Oluwole & Fadiya 2013). Los principios de la construcción sustentable pueden ser diferenciados de acuerdo a las tres dimensiones del desarrollo sustentable, que son el medio ambiente, social y económico (Sev 2009) (Figura 4). Si bien los gobiernos son actores importantes, no son los únicos, en la regulación de la industria de la construcción; existe un reconocimiento generalizado de que los cambios en el marco normativo, particularmente en los reglamentos de construcción, son medios eficaces para un cambio de comportamiento en el sector, la regulación no debe ser utilizada en forma aislada, sino en combinación y colaboración con otras medidas de política tales como los incentivos económicos y la educación (Majdalani, Ajam & Mezher 2006).

La discusión de los rasgos distintivos de las organizacionales en los procesos de construcción ha demostrado la importancia de considerar tanto las relaciones entre las empresas y las peculiaridades de las empresas involucradas, cuatro características se han seleccionado para el análisis de los procesos de construcción (Albino & Berardi 2012):

- El nivel de integración entre la empresa contratista y sus proveedores.
- El nivel de integración entre la empresa contratista y el equipo de diseño.

- El grado de especialización en construcción sustentable de las empresas que participan en el proceso.
- Las cualidades relacionadas con la construcción sustentable de las empresas involucradas en el proceso.



**Figura 4. Marco para la evaluación de la sustentabilidad de la industria de la construcción**

Fuente: Sev (2009)

La educación continua y la colaboración con instituciones académicas son de gran importancia, estas se pueden valer del uso de herramientas tecnológicas para encontrar mejores soluciones a los problemas ambientales a los que la industria de la construcción se enfrenta, además pueden crear una sana competencia brindando beneficios más grandes para toda la industria, esto se puede lograr si el triángulo tecnológico (Ciencia, Economía y Política) es utilizado por todas las organizaciones e incluso el gobierno (Majdalani, Ajam & Mezher 2006).

#### 4.4 Materiales para la construcción sustentable.

Ninguna otra industria utiliza más materiales por peso que la industria de la construcción y a su vez genera un alto nivel de contaminación y es un objeto de creciente escrutinio de las partes interesadas (Horvath 2004). Los impactos en la salud humana y ambiental de los materiales son un costo oculto de nuestro entorno construido; los impactos durante la fabricación, transporte, instalación, uso y disposición de los materiales de construcción pueden ser importantes, pero a menudo son invisibles (Calkins 2008). Naturalmente, el desarrollo de productos de la construcción que incorporan todos los aspectos de la sustentabilidad sigue siendo un reto, debido a la continua demanda de información específica del producto a lo largo de su vida, sin embargo, la evaluación y análisis de costos y ciclo de vida del producto se llevan a cabo de forma intermitente debido a la estructura actual de la industria (Matipa, Kelliher & Keane 2008).

La industria de la construcción es un gran consumidor de recursos naturales no renovables como los metales, combustibles fósiles y fuentes de energía no renovables; los procesos de fabricación de materiales básicos de construcción, como cemento, acero, aluminio, vidrio, ladrillos y cal son altamente dependientes de la energía, el combustible fósil es un recurso no renovable importante que se requiere para generar esta energía (Shafii, Arman Ali & Othman 2006). Además de las enormes cantidades de materiales y energía que se utiliza para construir, operar, y mantener, el entorno construido es responsable de altas cantidades de contaminación y generación de residuos en millones de lugares en todo el mundo (Horvath 2004) (Figura 5).



Figura 5. Impacto al medio ambiente de los materiales para construcción  
Fuente: Delta 2 (2002)

La selección de materiales inapropiados puede influir en el rendimiento del edificio e impedir el logro de los objetivos de sustentabilidad deseados, los usuarios necesitan información adecuada acerca de los materiales candidatos como sus propiedades y características (Florez, Castro & Irizarry 2013). Glavic y Lukman (2007) definen Material Sustentable como: *“Un producto fabricado mediante procesos y sistemas que son no contaminantes, que conservan la energía y los recursos naturales en formas económicamente viables, seguras y saludables para los consumidores y que son socialmente y creativamente gratificante para todos los grupos de interés a corto y largo plazo el futuro”*. Por ejemplo, el material verde ideal podría ser un material natural, renovable, local e indígena, no tóxico, bajo en energía incorporada, tales como esquejes (fibra) de sauce para la estabilización de taludes o tierra apisonada por un muro de contención; sin embargo, estos materiales pueden no ser factible en todas las situaciones (Calkins 2008).

Los materiales o productos sustentables que minimicen los impactos ambientales deben cumplir con estas características (Yates 2013) (Ver tabla 2):

- Materiales mínimamente procesados;
- Materiales de baja energía incorporada;
- Materiales producidos con energía procedente de fuentes renovables;
- Materiales locales;
- Materiales poco contaminantes;
- Materiales que en su producción consuman poca agua y que tengan un nivel bajo de contaminación de la misma;
- Materiales o productos con bajas emisiones;
- Materiales o productos que permitan evitar el uso de productos químicos tóxicos o subproductos.

**Tabla 2. Características de los materiales sustentables**

<b>Categoría</b>	<b>Características</b>
Impacto de los costos del ciclo de vida	Impacto relativo del costo del ciclo de vida de las operaciones de construcción (que no debe confundirse con la evaluación del ciclo de vida medioambiental, que mide las cargas ambientales, no de impacto financiero)
Eficiencia Energética	Los materiales de construcción que influyen directamente en el uso de energía del edificio
Eficiencia del uso del agua	Los materiales de construcción que influyen directamente en el uso de agua del edificio
Fabricado localmente	Los materiales de construcción que se fabrican dentro de un radio definido (500 millas por el sistema de calificación LEED)
Reducción de material	Productos o materiales que sirven a una función definida por el uso de menos material que se utiliza normalmente.
Materias primas locales	Los materiales de construcción que se fabrican localmente utilizando materias primas obtenidas dentro del radio definido
No tóxico	Los materiales de construcción que liberan niveles relativamente bajos de emisiones de sustancias olorosas, irritantes, tóxicas o peligrosas. Los compuestos orgánicos volátiles (COV) formaldehidos, partículas, de fibras son ejemplos de sustancias emitidas a partir de materiales de construcción que podrían afectar negativamente a la salud humana (alérgenos, carcinógenos e irritantes)
Contenido reciclado	Cantidad de material reprocesado contenido dentro de un producto de construcción que se originó en el uso post-consumo y / o el uso post-industrial. Esto incluye la reutilización de las estructuras existentes de construcción, equipos y mobiliario
Salvamento	Los materiales de construcción que se reutilizan como están (o con la renovación menor de edad), sin haber sido sometido a ningún tipo de reprocesamiento para cambiar el uso previsto. Esto incluye la reutilización de las estructuras de los edificios existentes, equipos y mobiliario
Rápidamente renovable	Materiales de construcción que se reponen a sí mismos más rápido (dentro de diez años) que la demanda de extracción tradicional y no den lugar a impactos ambientales adversos
Madera certificada	Los materiales de construcción se fabrican en parte de la madera que se ha certificado con las normas del Consejo de Manejo Forestal como procedente de un bosque bien gestionado

Fuente: Yates (2013)

Las empresas reconocen que las iniciativas tales como la selección de materiales adecuados y la gestión de residuos, procesos eficientes y el diseño del producto, la eficiencia de recursos y el reciclaje serán rentables y ambientalmente preferibles (Sev 2009). La selección cuidadosa de materiales sustentables ha sido identificada como la forma más fácil para empezar a incorporar los principios de sustentabilidad en el proyecto de construcción, el proceso de selección de los materiales de construcción en gran parte está basado en confiar en la experiencia del material en lugar de utilizar el enfoque numérico, debido a la falta de disponibilidad formal y de criterios de medición (Akadiri, Peter O. & Olomolaiye 2012). Los seis componentes que contribuyen al valor de un material incluyen la emoción (sensualidad), estética, identidad del producto, la ergonomía, la tecnología de la base, y la calidad, dado que un producto sustentable debe dar tanta

satisfacción como sea posible para el usuario debe incorporar todos estos valores (Glavič & Lukman 2007).

El aumento en la popularidad del uso respetuoso del medio ambiente y el mantenimiento de los requisitos de los materiales han dado lugar a la necesidad de investigar nuevas formas para alcanzar a estos objetivos; por ejemplo, el ladrillo es una de las unidades de mampostería más servicial como un material de construcción debido a sus propiedades, es por esto que se han hecho intentos para incorporar residuos en su producción (Raut, Ralegaonkar & Mandavgane 2011). De la misma manera el concreto es uno de los materiales de construcción más utilizados en el mundo, la producción de cemento portland, un constituyente esencial del concreto, conduce a la liberación de gran cantidad de CO<sub>2</sub>, un gas de efecto invernadero (Naik & Moriconi 2006). Se sabe que los componentes del concreto son agregados (piedra triturada, grava, arena), cemento, agua, colorantes y aditivos químicos; este se utiliza en el desarrollo de cada parte del entorno construido, incluyendo edificios, carreteras, puentes, presas, puertos, y tanques de almacenamiento (Horvath 2004). Es por esto que regiones geográficas enteras se están quedando sin recursos de piedra caliza para producir cemento, la sustentabilidad requiere que los ingenieros consideren el costo del "ciclo de vida" de un edificio, esto incluye la construcción de edificios, mantenimiento, demolición y reciclaje (Naik & Moriconi 2006).

Probablemente la solución al uso de los materiales puede no siempre estar en uno nuevo, sino en el uso de un material convencional de manera verde, es decir de forma menos perjudicial y más eficiente, los diseñadores deben tomar medidas para utilizar los materiales convencionales de tal manera que se minimicen sus impactos en la salud humana y al ambiente (Calkins 2008). Así mismo la eficiencia del material se establece por la cantidad necesaria para satisfacer una necesidad, dicha cantidad de material es una consecuencia del diseño y afecta a la demanda de recursos vírgenes y residuos de producción, determinando de ese modo el impacto medioambiental, la energía y el consumo de agua necesaria para la extracción y la fabricación del mismo (Santin 2009). Es por esto que cuando un diseñador o constructor ha definido que se requiere un material sustentable, las especificaciones deben ser comparadas con bases de datos de materiales o proveedores amplias para seleccionar un número preliminar de posibles candidatos (Florez, Castro & Irizarry 2013). Todo esto traerá como consecuencia un diseño sustentable y producirá edificios: con una menor energía incorporada y menos emisiones nocivas; usando recursos

reutilizables y renovables, reciclables y reparables; y el uso de agua y de energía más eficiente (Al-Yami & Price 2006).

Desde un punto de vista ambiental, el reciclado es generalmente mejor que la demolición, porque los costos ambientales de la energía, agua y materiales para la rehabilitación y la reutilización son menores, es por esto que se ha desarrollado un modelo de reciclaje de los residuos de construcción de concreto de agregados ligeros para incorporar el desempeño ambiental en el diseño de las operaciones y reducir al mínimo el desperdicio (Kralj 2011). La eficiencia de las actividades de mantenimiento, renovación y demolición será definida por el potencial de la construcción para permitir tales actividades, por lo tanto, la elección de los materiales adecuados es de máxima importancia para el logro de la construcción sustentable (Santin 2009). Debido a esto, las estrategias de minimización de residuos forman un componente importante de la investigación, ya que la industria de la construcción genera grandes cantidades de residuos que se sitúan en los rellenos sanitarios, genera 25 por ciento de los residuos sólidos municipales y 50 por ciento de los desechos peligrosos (Yates 2013).

Las múltiples variables que intervienen en los proyectos de construcción obligan a los promotores y constructores para hacer frente a los numerosos desafíos que a veces son a muy problemáticos, estas están relacionadas con aspectos que pueden incluir las especificaciones técnicas, el diseño, ingeniería, técnicas de construcción, así como del medio ambiente, económicos, de seguridad, culturales, sociales, control de calidad, recursos humanos, financieros y de gestión (Pietrosemoli & Rodríguez Monroy 2013). Por otra parte se han hecho intentos para incorporar residuos de bajo peso en la producción de ladrillos; por ejemplo: papel, colillas, ceniza, textiles, espuma de poliestireno, fibra de plástico, paja, tela de poliestireno, desperdicios de algodón, lodo de plantas de tratamiento de aguas residuales, el caucho, etc.; la conductividad térmica se puede reducir mediante la adición de estos, otra ventaja de ladrillos ligeros es que se reducen los costos de transporte (Raut, Ralegaonkar & Mandavgane 2011).

Para cambiar las mentalidades en las prácticas sustentables diarias (hábitos y mentalidad de los consumidores acerca de los residuos), las universidades tienen que desempeñar un papel en la transformación de las sociedades y tiene que abrir sus puertas a todos los ciudadanos individuales (Sieffert, Huygen & Daudon 2013). Considerando que como una sociedad global se han desarrollado o están en el proceso de desarrollo de una gran

variedad de instrumentos que buscan promover la sostenibilidad en la construcción (Warnock 2007). Es por esto que las ciudades futuras deben esforzarse por ser libres de carbono, más eficientes energéticamente que las ciudades existentes; también deberían confiar más en las fuentes de energía renovables, reciclar el agua y las aguas residuales, reciclaje de residuos sólidos, tener transporte verde, y sobre todo, desarrollar una mejor calidad de vida (Mezher 2011). Dado que la industria de la construcción tiene un gran impacto en el medio ambiente, las mejoras en el desempeño ambiental en el sector de la construcción han sido identificados como los principales contribuyentes para mantener la competitividad contratista, especial énfasis se ha puesto en los intentos para reducir la generación de residuos y la mejora de las técnicas de minimización de los efectos dañinos de las actividades de construcción en el medio ambiente (Tan, Shen & Yao 2011).

En general la construcción sustentable proporcionará mejoras en (Shafii, Arman Ali & Othman 2006):

- Evaluación del lugar, uso del suelo contaminado del sitio, saneamiento y desarrollo.
- El daño ecológico y la minimización de los residuos durante la construcción.
- El diseño del sitio para maximizar la energía solar pasiva, las características hidrológicas, ecológicas y otras.
- Selección de materiales de bajo impacto y sustentables.
- Diseño integrado de sitio, estructura de edificio, el aislamiento, la iluminación, sistemas de climatización, etc. Para reducir al mínimo los gastos de funcionamiento, las pérdidas de calor y consumo de energía.
- La consideración de los impactos ambientales de los edificios a lo largo de su vida y continuó a esto la gestión de técnicas para minimizarlos.

La construcción ha evolucionado con el uso de nuevos materiales sustentables y equipos, la modulación de los edificios y estructuras, la prefabricación de elementos, el desarrollo de iniciativas de la cadena de suministro de la construcción, la mejora de la calidad y la productividad, así como con el uso de la innovación y la alta tecnología, la construcción hoy en día se puede considerar de alta tecnología y una industria basada en el conocimiento (Pietrosemoli & Rodríguez Monroy 2013).

## V. METODOLOGÍA

### a) Tipo de estudio.

El presente estudio es de carácter cuantitativo ya que se hizo un análisis de impactos ambientales y de funcionalidad a los materiales aislantes y de recubrimiento en muros para baños saunas.

### b) Diseño Metodológico.

El diseño metodológico seleccionado es un caso de estudio en el cual se evalúan materiales aislantes y de recubrimiento para la construcción de un baño sauna con estrategias sustentables.

El proyecto se realizó a través de las siguientes etapas:

1. Revisión y análisis del anteproyecto arquitectónico existente, para efectuar un listado de equipo, materiales y estrategias a utilizar.
2. Análisis de ciclo de vida del aislante de materiales de reúso.
3. Ejercicio exploratorio de calor y humedad en maderas para recubrimiento interior de muros.
4. Análisis económico y propuesta constructiva.

### c) Alcance.

El proyecto se llevó a cabo en el complejo deportivo “PichySport”, en el periodo que comprende de Septiembre del 2014 a Diciembre del 2015.

### d) Preguntas de investigación.

¿Cómo es posible minimizar el impacto ambiental y económico de los materiales aislantes y de recubrimiento en muros para baños saunas?

### e) Objeto de estudio.

El objeto de estudio es el baño sauna construido con base en principios sustentables en el complejo deportivo “PichySport”.

**f) Selección del objeto de estudio o del lugar que ubica al objeto de estudio.**

La selección del caso de estudio se hizo a conveniencia en el complejo deportivo “PichySport”, porque la administración del establecimiento tiene interés por promover técnicas que minimicen el consumo y desecho de contaminantes, así como utilizar energías renovables en el lugar.

**g) Instrumentos de recolección y manejo de datos.**

- Proyecto Arquitectónico y ejecutivo de una sauna en el complejo deportivo “PichySport”.
- Software Simapro® para el análisis de ciclo de vida del aislante de materiales de reúso.
- Horno Cole-Palmer modelo Box Furnace CBFM518C, capacidad máxima de 1100°C, número de serie: W19N-500505-WN.
- Balanza digital Shimadzu EL-1200HA, capacidad máxima de 1200 g, número de serie: D508102432.
- Calibrador digital Mitutoyo, número de serie: 0134611.
- Modelado 3D en Sketchup®.
- El manejo de datos se hará en Microsoft Excel®, AutoCAD® y CorelDraw®.



### 6.1.1 Materiales aislantes seleccionados

#### A. Poliestireno expandido (EPS)

Primeramente se analizó el poliestireno expandido (EPS, por sus siglas en inglés), consiste en 95% de poliestireno y 5% de un gas, generalmente pentano que forma burbujas que reducen la densidad del material (ver figura 7). Su aplicación principal es como aislante térmico y acústico en la construcción y para el embalaje de productos frágiles, es muy ligero y es ampliamente conocido bajo diversas marcas comerciales (Poliexpan, Telgopor, Emmedue, etc.) (Ecoplas 2011).



**Figura 7. Poliestireno Expandido**

Fuente: Imagen ilustrativa de Pedraz (2013)

Este material de aislamiento puede ser presentado en forma de tableros o de forma continua en una línea de producción. El EPS contiene una estructura de poros ligeramente abierta, los paneles de EPS se pueden perforar, cortar y ajustar en la obra, sin perder sus propiedades de resistencia térmica. En la tabla 3 se presenta la conductividad térmica para EPS.

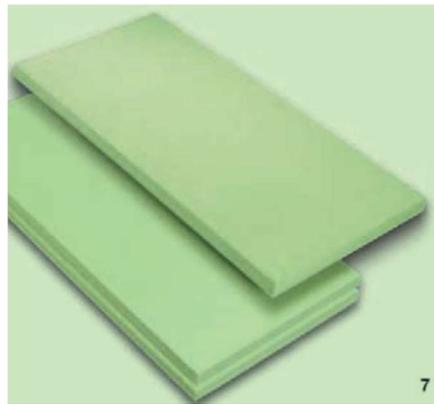
**Tabla 3. Conductividad térmica EPS**

Aislante	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Conductividad térmica $\lambda$ [W/(mK)]
EPS	>20	0.039

Fuente: Papadopoulos (2005).

## B. Poliestireno extruido (XPS)

Como segunda opción se consideró el material poliestireno extruido (XPS) o “Foamular”, para aislante en los muros y techo del baño sauna, que es actualmente el material disponible térmicamente más eficiente en el mercado (ver figura 8). Este es obtenido mediante la inyección de gas al poliestireno, sus propiedades son similares a las del EPS, por lo cual compite en las aplicaciones de aislamiento, pero a diferencia del EPS, el poliestireno extruido presenta burbujas cerradas, por lo que puede mojarse sin perder sus propiedades aislantes, su uso más específico es el de aislante térmico en membranas, donde el aislamiento térmico se coloca encima del impermeabilizante, protegiéndolo de las inclemencias del tiempo y alargando su vida útil (Ecoplas 2011).



**Figura 8. Poliestireno Extruido**

Fuente: Imagen ilustrativa de Dicono (n.d.)

La producción del material XPS se realiza en longitudes continuas que se cortan después del enfriamiento, estos tableros de XPS se pueden perforar, cortar y ajustar en la obra, sin pérdida de resistencia térmica, la Tabla 4 muestra un valor de conductividad térmica usando cálculos convencionales de XPS.

**Tabla 4. Conductividad térmica XPS**

<b>Material Aislante</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Conductividad térmica <math>\lambda</math> [W/(mK)]</b>
<b>XPS</b>	25-40	0.035

Fuente: Papadopoulos (2005).

### C. Aislante de materiales de reúso

Por otra parte se consideró un aislante de materiales de reúso, el cual está constituido por los materiales que se enlistan a continuación: celulosa o pulpa de papel reusado, agua, residuos de poliestireno expandido (triturado), cemento gris, cal y sulfato de zinc; en su mayoría dichos componentes son reutilizados y la menor parte es nuevo. Este se hará en forma de placas de 45 x 45 cm, con espesor de 1" (pulgada), estas son de un color grisáceo y tienen una textura rugosa. Se instalan adheridas al muro de ladrillo previamente construido (ver figura 9).



**Figura 9. Aislante de materiales de reúso**

Fuente: Elaboración Propia.

De un estudio previo hecho por Marín se tomó el valor de la conductividad térmica de este aislante de materiales de reúso los resultados se muestran en la tabla 5.

**Tabla 5. Conductividad térmica aislante de materiales de reúso**

Material	Conductividad térmica $\lambda$ [W/(mK)]
Aislante materiales de reúso	0.094

Fuente: Marín (2014)

Después de varias pruebas se llegó a la siguiente receta para elaborar el aislante de materiales de reúso. En la tabla 6 se muestran las cantidades para elaborar un metro

cuadrado del material de una pulgada de espesor. Estos materiales se mezclan de la manera más homogénea posible con agua hasta lograr una consistencia pastosa, posteriormente se coloca un plástico en una superficie plana y encima de este se ponen los marcos de madera que darán la forma a las placas del aislante. Se coloca la pasta dentro de dichos marcos y con mucho cuidado se esparce y compacta con el fin de lograr que quede lo más sólida y uniforme posible, esto se deja secar hasta que pierda toda la humedad y se convierta en una pieza rígida.

**Tabla 6. Ingredientes del Aislante de materiales de reúso**

Ingrediente	Cantidad	Unidad
Papel de reúso	0.986	kg
Poliestireno expandido triturado	0.093	kg
Agua	13.33	kg
Cemento	1.146	kg
Cal	0.706	kg
Sulfato de aluminio	0.080	kg

Fuente: Elaboración propia.

### **6.1.2 Materiales seleccionados para recubrimiento interior de muros**

En el caso del recubrimiento interior del sauna, se sabe que estos se realizan principalmente en maderas de cedro o teca; sin embargo, además se consideró como una posible opción la madera reutilizada de pallets o tarimas (madera de pino), que se utilizan para la estiba de productos en supermercados y que posteriormente se desechan. Se le da a esta un tratamiento adecuado a base de barniz marino para incrementar su resistencia al calor y a la humedad y con esto lograr una mayor durabilidad, además que el uso de este material también sería un aliciente para el diseño estético del interior por su apariencia y el efecto de material ecológico que este proyecta.

Además de que la madera tiene muchas características positivas, incluyendo la baja energía incorporada y el bajo impacto de carbono, una característica fundamental de ésta es la sustentabilidad ya que a diferencia de los metales y los productos basados en combustibles fósiles (como plásticos), el recurso forestal es renovable y con una gestión adecuada de un flujo de productos de madera se puede mantener indefinidamente (Ross 2010).

Por otra parte desde el punto de vista técnico, los productos de madera y tableros, son materiales que presentan numerosas ventajas como materiales de construcción, tales como: excelentes características de habitabilidad y resistencia sísmica, calidez, rapidez de construcción, facilidad de transporte, buena aislación térmica y acústica y menor costo. Bajo ciertas condiciones la madera presenta una buena resistencia al fuego gracias a la formación de una capa carbonizada; ya que expuesta a altas temperaturas se descompone para proporcionar una capa aislante de carbón que retarda aún más la degradación de la madera (Garay & Henríquez 2010).

Sin embargo, es necesario realizar pruebas para soportar la selección de la madera, ya que por una parte es importante cuidar el aspecto económico e impacto ambiental del material pero es de igual importancia considerar la funcionalidad y desempeño técnico del material a utilizar, ya que el mal desempeño del mismo podría ocasionar mayores gastos y fallas en el funcionamiento del inmueble.

## **6.2 Resultados Fase I: Análisis de Ciclo de Vida de Aislantes**

Con el objetivo de conocer cuál es el aislante más adecuado y funcional para este proyecto, y tomando en cuenta el interés por lograr una construcción sustentable, de estudios previos, se revisaron el análisis de ciclo de vida (ACV) del Poliestireno expandido y del Poliestireno extruido, y se llevó a cabo un ACV propio del Aislante de materiales de reúso.

### **A. ACV del Poliestireno expandido (EPS)**

El ACV del poliestireno expandido realizado por Pargana (2012) se efectuó con base en un cuestionario que fue hecho y entregado a un fabricante portugués de la EPS a fin de obtener datos precisos para la creación del modelo de EPS. Su planta industrial se encuentra 37.5 kilómetros de Lisboa, el modelo de EPS comprende varios procesos unitarios que reproducen la secuencia operativa de EPS en la planta.

En la tabla 7 que se muestra a continuación se pueden observar los parámetros analizados en el estudio de pargaña para el EPS y los resultados obtenidos del mismo en una unidad de material (m<sup>2</sup>).

**Tabla 7. Impactos ambientales de EPS**

<b>Environmental parameter</b>	<b>Unit</b>	<b>Total</b>
Non-regenerative primary energy	[MJ]	57.57
Regenerative primary energy	[MJ]	0.51
Water consumption	[kg]	2.61
Abiotic depletion	[kg Sb eq]	0.026
Acidification	[kg SO <sub>2</sub> eq]	8.81E-03
Eutrophication	[kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq]	8.89E-04
Global warming	[kg CO <sub>2</sub> eq]	2.49
Ozone layer depletion	[kg R-11 eq]	1.14E-07
Photochemical oxidation	[kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq]	4.70E-04

Fuente: Pargana (2012)

En cuanto al período de estudio para EPS, los datos utilizados se refieren a la media de los años 2008-2010. Otros datos fueron tomados de las bases de datos disponibles en el software Simapro® y se refieren a la producción y el transporte de las materias primas, así como la producción de energía eléctrica.

#### **B. ACV del Poliestireno extruido (XPS)**

El segundo estudio de Pargana (2012) se refiere a un ACV de la cuna a la puerta de tableros de XPS fabricado una empresa portuguesa. Esta fábrica está situada a 47 km de Porto, Portugal.

Los resultados del impacto ambiental en los parámetros analizados obtenidos en cuanto al XPS se muestran en la tabla 8 a continuación.

**Tabla 8. Impactos ambientales de XPS**

<b>Impact category</b>	<b>Unit</b>	<b>Total (A1-A3)</b>
Non-regenerative primary energy	[MJ]	101.38
Regenerative primary energy	[MJ]	1.71
Abiotic depletion	[kg Sb eq]	0.046
Acidification	[kg SO <sub>2</sub> eq]	0.018
Eutrophication	[kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq]	1.37E-03
Global warming	[kg CO <sub>2</sub> eq]	4.96
Ozone layer depletion	[kg R-11 eq]	8.22E-08
Photochemical oxidation	[kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq]	9.94E-04

Fuente: Pargana (2012)

### C. Aislante de materiales de reúso

Teniendo como referencia los ACV de anteriores, para el presente proyecto se realizó un ACV propio del nuevo material propuesto hecho de materiales de reúso, esta es una evaluación de la cuna a la puerta de placas de este material, el cual es fabricado en la misma área en la que se encuentra la construcción de la obra. A continuación se enlistan las fases de la fabricación de dichas placas (figura 10):

1. Fase de materias primas - La producción de cal, cemento, pulpa de papel y desechos de poliestireno (styrofoam).
2. Transporte a la construcción de los materiales.
3. Mezcla de los materiales.
4. Moldeado.
5. Fraguado
6. Uso

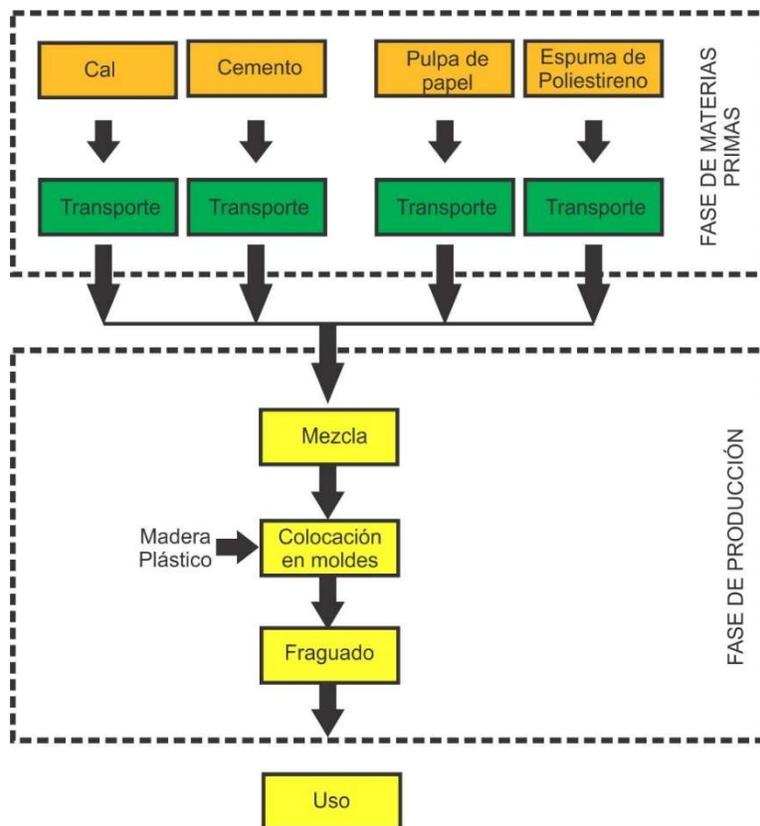


Figura 10. Principales fases de producción del aislante de materiales de reúso

Fuente: Elaboración propia.

Para el aislante de materiales de reúso se determinó que el método de análisis más apropiado era el IMPACT 2002+ en Simapro® ya que este involucra indicadores tanto de impacto ambiental como de salud, este método abarca 14 categorías, sin embargo se seleccionaron las 4 más relevantes para el proyecto; estas son: Carcinógenos, Deterioro de la capa de ozono, Ecotoxicidad acuática y Calentamiento global. A continuación se muestran los resultados en la figura 11.

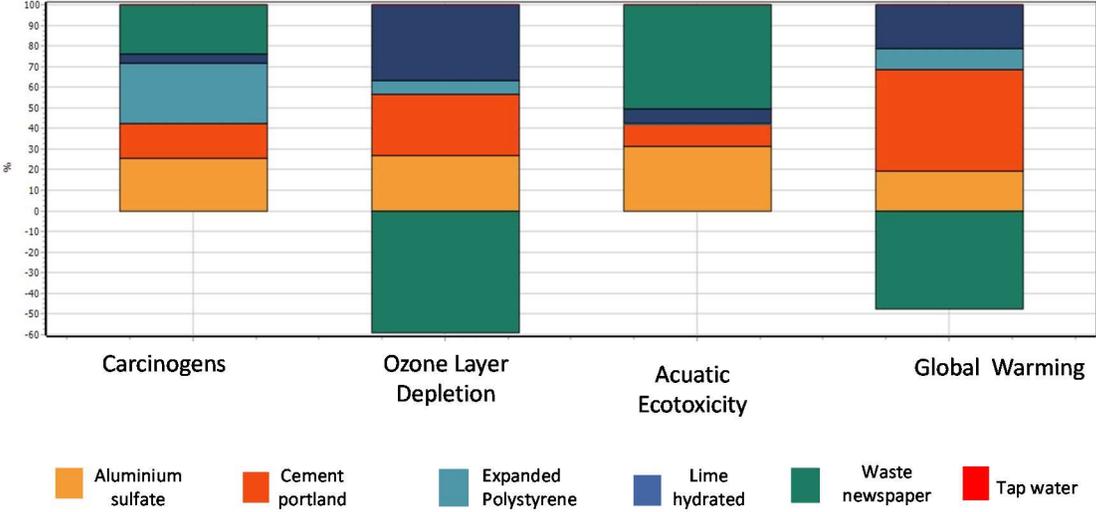


Figura 11. Resultados obtenidos en Simapro® para aislante de materiales de reúso

Fuente: Elaboración propia.

Por último, con los resultados obtenidos de los tres ACV se llevó a cabo una gráfica comparativa de los tres materiales aislantes seleccionados a fin de obtener una perspectiva del impacto de cada uno. Ésta se efectuó con la medida de unidad funcional de 1 m<sup>2</sup> con el fin de dar uniformidad a los resultados y que la comparativa fuera congruente (ver figura12).

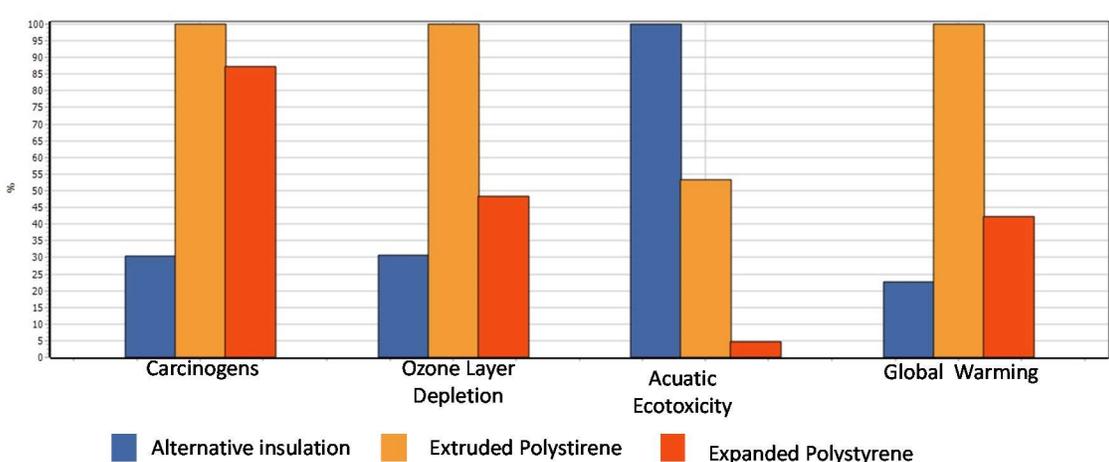


Figura 12. Comparativa de materiales aislantes (unidad funcional = 1 m<sup>2</sup>)

Fuente: Elaboración propia.

### 6.3 Resultados Fase II: Ejercicio exploratorio de calor y humedad en madera

Primeramente se comparó el comportamiento de 3 muestras de cada tipo de madera sin recubrimiento (teca, cedro y pino) a 3 diferentes temperaturas (60°C, 100°C y 120°C) en el horno, por un período de 2 horas, a fin de simular el efecto del baño sauna. Posteriormente se efectuó el mismo experimento en madera con recubrimiento de barniz poliuretano para madera marca Sayer Lack, con el objetivo de comparar el desempeño de la madera con y sin aditivos. Se compararon los siguientes aspectos: longitud, masa y deformación visual (pandeo). Los resultados se muestran en las siguientes tablas comparativas.

**Tabla 9. Condiciones iniciales de las muestras**  
(Nota: “b” representa madera barnizada)

Muestra		Condición Inicial				Tipo de Experimento
		Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Masa (g)	
CEDRO (C)	C1	153.31	88.53	21.11	131.5	Calor
	C2	152.80	88.51	20.88	136.6	Calor
	C3	153.87	88.65	21.11	131.4	Calor
	C4	153.54	88.56	21.04	133.0	Humedad
	C5 (b)	153.68	88.58	22.13	135.9	Calor
	C6 (b)	154.06	88.41	22.09	136.5	Calor
	C7 (b)	154.79	88.71	21.94	136.7	Calor
	C8 (b)	152.85	88.58	21.32	135.2	Humedad
TECA (T)	T1	154.37	102.69	22.74	236.5	Calor
	T2	152.82	102.24	22.69	233.0	Calor
	T3	153.18	102.24	22.13	214.9	Calor
	T4	153.45	102.41	23.09	231.3	Humedad
	T5 (b)	154.15	103.36	24.12	237.6	Calor
	T6 (b)	152.56	102.63	23.74	242.0	Calor
	T7 (b)	152.47	102.61	22.98	220.7	Calor
	T8 (b)	152.74	103.10	23.01	248.2	Humedad
PINO (P)	P1	155.63	100.70	18.90	143.0	Calor
	P2	155.69	101.14	18.92	149.0	Calor
	P3	155.85	101.13	19.15	145.2	Calor
	P4	155.81	100.48	19.15	144.3	Humedad
	P5 (b)	156.38	100.56	20.12	146.9	Calor
	P6 (b)	157.08	101.33	20.04	150.1	Calor
	P7 (b)	155.81	101.25	19.98	150.0	Calor
	P8 (b)	156.47	100.95	19.03	149.1	Humedad

**Tabla 10. Contracción por calentamiento en muestras  
(Nota: "b" representa madera barnizada)**

Temperatura	Muestra	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
60°C	C1	0.00	0.02	0.11
	T1	0.00	0.00	0.01
	P1	0.00	0.00	0.00
100°C	C2	0.00	0.33	0.68
	T2	0.01	0.46	0.40
	P2	0.07	0.96	0.11
120°C	C3	0.00	0.28	0.01
	T3	0.31	0.56	0.23
	P3	0.13	0.48	0.59
60°C	C5 (b)	0.03	0.08	1.0
	T5 (b)	0.00	0.24	1.6
	P5 (b)	0.08	0.24	1.1
100°C	C6 (b)	0.06	0.21	0.9
	T6 (b)	0.04	0.03	0.7
	P6 (b)	0.08	0.69	1.1
120°C	C7 (b)	0.01	0.49	1.0
	T7 (b)	0.07	0.31	0.1
	P7 (b)	0.02	0.8	0.8

**Tabla 11. Disminución de masa por calentamiento en muestras  
(Nota: "b" representa madera barnizada)**

Temperatura	Muestra	Disminución (g)
60°C	C1	1.7
	T1	1.6
	P1	2.9
100°C	C2	4.1
	T2	3.4
	P2	6.6
120°C	C3	1.9
	T3	7.4
	P3	8.7
60°C	C5 (b)	1.9
	T5 (b)	1.9
	P5 (b)	1.7
100°C	C6 (b)	2.3
	T6 (b)	5.9
	P6 (b)	6.3
120°C	C7 (b)	6.3
	T7 (b)	4.1
	P7 (b)	7.5

Posteriormente se evaluó el comportamiento de tres muestras sin barniz (C4, T4, P4) y tres con barniz (C8, T8 y P8) de los tres tipos de madera a la humedad, sumergiendo estas en un contenedor con agua potable y comparando sus masas y longitudes inicialmente y en periodo de 1, 5, 10 y 15 días, esto con el fin de determinar la cantidad de agua absorbida por las muestras, además se realizó una comparativa en cuanto a la deformación visual por

medio de fotografías iniciales y finales (ver figuras 13, 14, 15 y 16), los datos se muestran en la tabla 12 y 13.

**Tabla 12. Dilatación por humedad en muestras**

Muestra	Parámetro	1 día	5 días	10 días	15 días
C4	Largo (mm)	0.17	0.17	0.17	0.17
	Ancho (mm)	0.96	1.74	2.05	2.11
	Espesor (mm)	0.5	0.71	0.73	0.76
T4	Largo (mm)	0.42	0.77	0.86	1.46
	Ancho (mm)	1.24	3.16	4.32	5.05
	Espesor (mm)	0.07	0.28	0.38	1.15
P4	largo(mm)	0.42	0.55	0.58	0.55
	Ancho (mm)	2.52	4.04	4.15	4.22
	Espesor (mm)	0.47	0.6	0.6	0.55
C8 (b)	Largo (mm)	0.08	0.23	0.17	0.17
	Ancho (mm)	0.98	1.29	1.79	1.8
	Espesor (mm)	0.18	0.31	0.32	0.32
T8 (b)	Largo (mm)	0.03	0.06	0.03	0.06
	Ancho (mm)	1.20	1.99	3.10	3.36
	Espesor (mm)	0.20	0.39	0.46	0.52
P8 (b)	Largo (mm)	0.38	0.38	0.41	0.39
	Ancho (mm)	1.45	3.21	3.56	3.76
	Espesor (mm)	0.63	0.84	0.87	0.88



**Figura 13. Estado inicial de muestras sin barniz**



**Figura 14. Estado final de muestras sin barniz**



Figura 15. Estado inicial de muestras con barniz



Figura 16. Estado final de muestras con barniz

Tabla 13. Ganancia de masa por humedad en muestras

Muestra	1 día (g)	5 días (g)	10 días (g)	15 días (g)
C4	20.6	45	66.7	72.3
T4	23.1	51.2	80.1	87.7
P4	24	47.5	66.8	70.5
C8 (b)	12.4	31.2	50.1	56.1
T8 (b)	10.8	28.5	48	54.9
P8 (b)	16.6	38.4	59.8	65.8

## 6.4 Análisis económico y propuesta constructiva

### 6.4.1 Análisis económico

Para una base integral en la toma de decisiones es necesario también considerar el impacto económico de este proyecto, por esto se realizó un análisis de costos comparativo, primeramente de los materiales aislantes (ver tabla 14).

Tabla 14. Costos de materiales aislantes por cada metro cuadrado

Material	Unidad	Costo material	Costo instalación (material y mano de obra)	Sub-Total
Aislante de materiales de reúso	m <sup>2</sup>	\$9.22	\$175.00	\$184.22
XPS 2"	m <sup>2</sup>	\$206.88	\$175.00	\$381.88
EPS 1.5"	m <sup>2</sup>	\$36.19	\$175.00	\$211.19

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se realizó un análisis comparativo de costos del recubrimiento de madera interior en muros del baño sauna incluyendo dos bancas interiores y una protección para la estufa, con la opción de madera de cedro y la de madera de pino (tabla 15).

**Tabla 15. Costos de maderas de recubrimiento para un baño sauna**

Tipo de madera	Costo
<b>Cedro</b>	\$55,499.91
<b>Pino</b>	\$29,099.93
<b>Teca</b>	\$92,000.23

Fuente: Elaboración propia.

Por último se efectuó una tabla comparativa de costos totales con el fin de sustentar los materiales seleccionados y tener una mejor perspectiva (ver tabla 16).

**Tabla 16. Costos totales para un baño sauna**

Madera a 2.10 m de altura	Costo	Aislante (37 m <sup>2</sup> )	Costo	Mano de obra	Total
Pino	\$29,099.93	Aislante de materiales de reúso	\$344.86	\$6,474.88	\$35,919.86
		XPS	\$7,658.95	\$6,474.88	\$43,233.95
		EPS	\$1,349.89	\$5,549.90	\$35,999.90
Cedro	\$55,499.91	Aislante de materiales de reúso	\$344.86	\$6,474.88	\$62,319.84
		XPS	\$7,658.95	\$6,474.88	\$69,543.97
		EPS	\$1,349.89	\$5,549.90	\$62,399.88
Teca	\$92,000.23	Aislante de materiales de reúso	\$344.86	\$6,474.88	\$98,819.64
		XPS	\$7,658.95	\$6,474.88	\$106,138.95
		EPS	\$1,349.89	\$5,549.90	\$98,899.68

Fuente: Elaboración propia.

### 6.4.2 Propuesta constructiva

Actualmente el inmueble se encuentra a nivel de obra gris, es decir muros de tabique, losas, instalaciones eléctricas e hidrosanitarias, es por esto que el proceso constructivo dará continuidad a lo que actualmente se encuentra ya edificado.

A partir de esto se continua con la colocación de las placas de aislante en el interior de los muros y en la losa de techo, estas se fijarán con un mortero cemento arena y encima de las mismas se fijará una malla metálica para después colocar un enjarre grueso como textura final, posteriormente se colocará la instalación de la tubería del sistema de calefacción y para finalizar se colocará el recubrimiento de madera reutilizada (pallets) y tratada con barniz marino con el propósito de aumentar su durabilidad.

Siguiendo con el objetivo base del proyecto, se espera que los procesos y estrategias constructivas de aplicación tanto del aislante como del recubrimiento sean lo más artesanales y eficientes posible, esto con el fin de optimizar la mano de obra y de cuidar el correcto uso de los recursos y materiales (ver figuras 17 y 18).

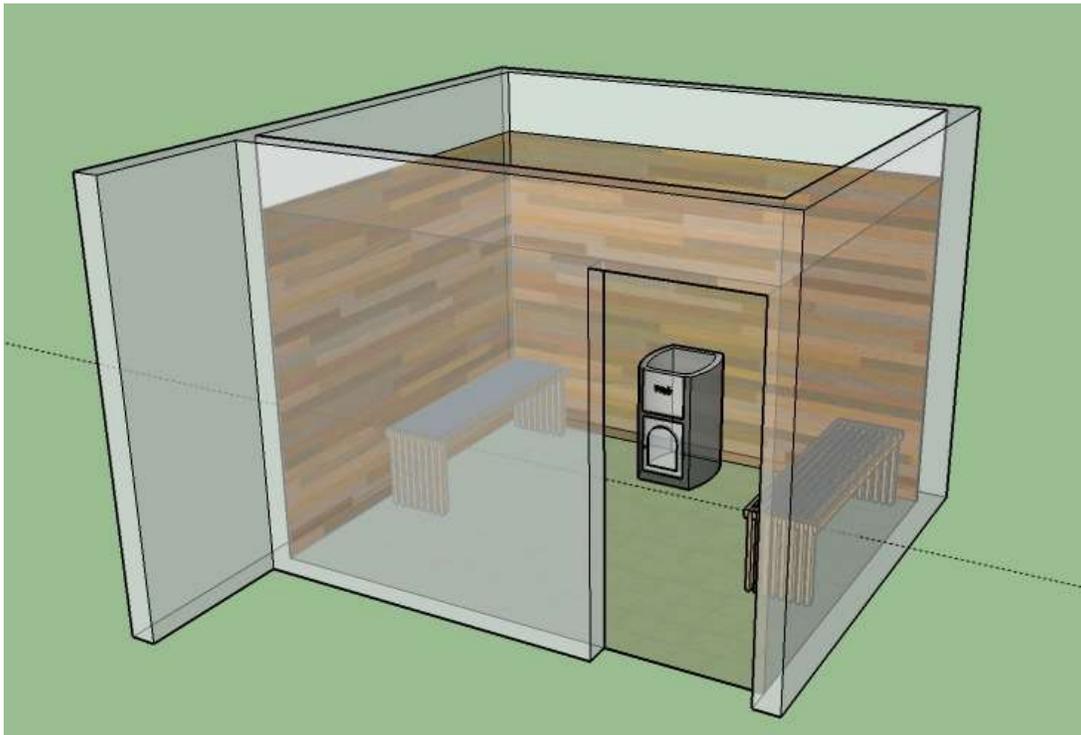


Figura 17. Vista 3D del baño sauna.

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 18. Vista interior del baño sauna**  
Fuente: Elaboración Propia

## VII. DISCUSIÓN

Dado que la selección de materiales inapropiados puede afectar al rendimiento de un edificio e impedir el logro de los objetivos de sustentabilidad deseados, los usuarios necesitan información adecuada acerca de los materiales candidatos, sus propiedades y características (Florez, Castro & Irizarry 2013). En este sentido, el presente estudio involucra elementos que deben tenerse en cuenta a la hora de tomar decisiones sobre la construcción de saunas.

En a la funcionalidad de los materiales aislantes analizados, se encontró que el más eficiente es el XPS con una conductividad térmica de  $0.037 \text{ W/(mK)}$ . Cuanto menor sea la conductividad, menos calor transmitido por el material. Este material mostró el mejor rendimiento técnico para el buen funcionamiento de la sauna.

El software utilizado en el ACV Simapro® es una herramienta para identificar y analizar la sustentabilidad de un producto y fue de gran utilidad para el proyecto ya que permite identificar oportunidades y llevar a cabo mejoras en el desempeño ambiental de los productos, en este caso particular de los aislantes térmicos, es una herramienta que facilita la adecuada toma de decisiones. El ACV comparativo de los tres aislantes mostró que el material con el menor impacto ambiental fue el aislante de materiales de reúso. Este obtuvo valores inferiores en la mayoría de las categorías. Considerando que su conductividad térmica es de  $0.94 \text{ W/(mK)}$  puede ser funcional en el proyecto.

En el análisis económico, el aislamiento menos costoso fue el hecho de materiales reciclados, a un costo total de US \$ 19.82, seguido de las EPS a un costo de US \$ 77.58, y finalmente, el XPS con un costo total de US \$ 440.17.

Adicionalmente se realizó un ejercicio de exploración para los tres tipos de madera propuestos: cedro, teca y pino, se observó que la aplicación de barniz, en la mayoría de los casos, podría ayudar a mejorar el comportamiento de las muestras; sin embargo, otros experimentos deben llevarse a cabo con el fin de determinar la importancia de los parámetros considerados. Además, hay que señalar que las muestras se expusieron a 100% de humedad y temperaturas más altas que las obtenidas en una operación normal de un baño sauna.

Por último, se realizó un análisis de costos comparativo para el revestimiento de madera en el interior de los muros del baño sauna con los tres tipos de madera: teca US \$ 5,287.35, cedro US \$ 3,189.65, y el pino US \$ 1,672.41.

La combinación más barata de recubrimiento de madera y aislamiento para la construcción del baño sauna fue madera de pino con el aislamiento de materiales de reúso con un costo total de US \$2,064.36, y la combinación más cara fue madera de teca con aislamiento de XPS con un costo total de US \$6,099.64. Ambas opciones, de acuerdo a los resultados del estudio, son funcionales para este proyecto en particular. Sin embargo, para obtener información más extensa, se necesitan investigaciones adicionales.

## **VIII. CONCLUSIONES**

Al final del estudio se puede afirmar que, entre los tres tipos de aislamiento, el más eficiente en rendimiento técnico fue el XPS. Sin embargo, el aislamiento de materiales de reúso tiene un bajo impacto ambiental y un bajo costo económico, y también cumple con los requerimientos del proyecto. A pesar de que su conductividad térmica es más alta, tiene la capacidad para aislar adecuadamente el edificio.

Por otra parte, los tres tipos de madera mostraron cambios ligeros causados por el calor y la humedad durante el experimento; por lo tanto, cualquiera de ellas cumpliría los requisitos del proyecto. La decisión dependerá exclusivamente del presupuesto del cliente y de la disponibilidad de materiales.

## **IX. RECOMENDACIONES**

Para obtener mayor nivel de profundidad en el tema se recomienda continuar con la construcción actual del baño sauna, apegándose al sistema constructivo recomendado para lograr la eficiencia en el inmueble.

Posteriormente, cuando se encuentre en funcionamiento, realizar un proceso de monitoreo de temperatura y humedad en el interior del espacio acompañado de observación del comportamiento de los materiales constructivos (aislamiento y madera) colocados en los muros. Esto con el objetivo de validar el correcto funcionamiento de los mismos.

Además es importante determinar la durabilidad y desgaste de los materiales, estudiar con mayor detalle los cambios y alteraciones que estos sufren con el paso del tiempo ante los fenómenos físicos.

## X. REFERENCIAS

- Akadiri, PO & Fadiya, OO 2013, 'Empirical analysis of the determinants of environmentally sustainable practices in the UK construction industry', *Construction Innovation: Information, Process, Management*, vol. 13, no. 4, pp. 352-73.
- Akadiri, PO & Olomolaiye, PO 2012, 'Development of sustainable assessment criteria for building materials selection', *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 19, no. 6, pp. 666-87.
- Al-Yami, AM & Price, ADF 2006, 'A framework for implementing sustainable construction in building briefing project', paper presented to 22nd Annual ARCOM Conference-Association of Researchers in Construction Management, Birmingham, UK.
- Albino, V & Berardi, U 2012, 'Green buildings and organizational changes in Italian case studies', *Business Strategy and the Environment*, vol. 21, no. 6, pp. 387-400.
- Arboit, M, Arena, P & de Rosa, C 2008, 'Evaluación térmica y económica de componentes constructivos con tecnologías disponibles, en viviendas unifamiliares en la región de Mendoza', *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 12, pp. 01-97.
- Augenbroe, GLM, Pearce, AR, Guy, B & Kibert, CK 1998, 'Sustainable construction in the USA: perspectives to the year 2010', *Sustainable Development and the Future of Construction, Vol. report*, vol. 225.
- Ball, J 2002, 'Can ISO 14000 and eco-labelling turn the construction industry green?', *Building and environment*, vol. 37, no. 4, pp. 421-8.
- Banamex 2015, *Divisas y Metales*, viewed 25/VII/2015 <[http://www.banamex.com/economia\\_finanzas/es/divisas\\_metales/resumen.htm](http://www.banamex.com/economia_finanzas/es/divisas_metales/resumen.htm)>.
- Blanco, JM, Arriaga, P, Rojí, E & Cuadrado, J 2014, 'Investigating the thermal behavior of double-skin perforated sheet façades: Part A: Model characterization and validation procedure', *Building and Environment*, vol. 82, pp. 50-62.
- Bojić, M, Miličić, M & Bojić, L 2014, 'Optimization of thermal insulation to achieve energy savings in low energy house (refurbishment)', *Energy Conversion and Management*, vol. 84, pp. 681-90.
- Calkins, M 2008, *Materials for sustainable sites: a complete guide to the evaluation, selection, and use of sustainable construction materials*, John Wiley & Sons.
- Cankar, M 2011, *The Finnish Sauna*, viewed 2014 <[http://cankar.org/sauna/origins/culture\\_main.html](http://cankar.org/sauna/origins/culture_main.html)>.
- Delta 2002, *La construcción sostenible*, <[http://www.deltados.com/const\\_sostenible.htm](http://www.deltados.com/const_sostenible.htm)>.
- dicono n.d., 'XPS (poliestireno extruido)', *AISLAMIENTO*, p. 46.
- Dixon, E, Richman, R & Pressnail, K 2012, 'Nested Thermal Envelope Design construction: Achieving significant reductions in heating energy use', *Energy and Buildings*, vol. 54, pp. 215-24.
- Du Plessis, C 2002, 'Agenda 21 for sustainable construction in developing countries', *CSIR Report BOU E*, vol. 204.
- 2007, 'A strategic framework for sustainable construction in developing countries', *Construction Management and Economics*, vol. 25, no. 1, pp. 67-76.
- Ecoplas 2011, *Poliestireno Características y Ventajas Respecto al Medio Ambiente*, 38.
- Florez, L, Castro, D & Irizarry, J 2013, 'Measuring sustainability perceptions of construction materials', *Construction Innovation: Information, Process, Management*, vol. 13, no. 2, pp. 217-34.
- Freixanet\_Wellnes\_Projects n.d., *La sauna: fuente de salud y bienestar*, viewed 08/X/2014 <<http://www.freixanet-saunasport.com/es/actualidad/la-sauna-fuente-de-salud-y-bienestar/>>.
- Garay, R & Henriquez, M 2010, 'Comportamiento frente al fuego de tableros y madera de pino radiata con y sin pintura retardante de llama', *Maderas. Ciencia y tecnología*, vol. 12, no. 1, pp. 11-24.
- Glavič, P & Lukman, R 2007, 'Review of sustainability terms and their definitions', *Journal of Cleaner Production*, vol. 15, no. 18, pp. 1875-85.
- González, AD 2008, 'Aumento de eficiencia térmica en la ciudad de Bariloche: propuesta de plan de mejoras con dirección de subsidios a la inversión, y no al consumo', *AVERMA*, vol. 12, pp. 7-57.

- Hannuksela, ML & Ellahham, S 2001, 'Benefits and risks of sauna bathing', *The American journal of medicine*, vol. 110, no. 2, pp. 118-26.
- Harjulin, N 2012, 'Place consumption: the Sauna, the Finns and their practices'.
- Horvath, A 2004, 'Construction materials and the environment', *Annu. Rev. Environ. Resour.*, vol. 29, pp. 181-204.
- Ingenieros, C n.d.
- Kauppinen, K 1997, 'Facts and fables about sauna', *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 813, no. 1, pp. 654-62.
- Kralj, D 2011, 'Innovative systemic approach for promoting sustainable innovation for zero construction waste', *Kybernetes*, vol. 40, no. 1/2, pp. 275-89.
- Kukkonen-Harjula, K & Kauppinen, K 2006, 'Health effects and risks of sauna bathing', *International journal of circumpolar health*, vol. 65, no. 3.
- Majdalani, Z, Ajam, M & Mezher, T 2006, 'Sustainability in the construction industry: a Lebanese case study', *Construction Innovation: Information, Process, Management*, vol. 6, no. 1, pp. 33-46.
- Marin, M 2014, 'CONTABILIDAD AMBIENTAL EN EMERGENCIAS PARA SISTEMAS DE CALEFACCIÓN EN UNA SAUNA', Universidad de Sonora.
- Matipa, WM, Kelliher, D & Keane, M 2008, 'How a quantity surveyor can ease cost management at the design stage using a building product model', *Construction Innovation: Information, Process, Management*, vol. 8, no. 3, pp. 164-81.
- Melo, MOBC, da Silva, LB, Coutinho, AS, Sousa, V & Perazzo, N 2012, 'Energy efficiency in building installations using thermal insulating materials in northeast Brazil', *Energy and Buildings*, vol. 47, pp. 35-43.
- Mezher, T 2011, 'Building future sustainable cities: the need for a new mindset', *Construction Innovation: Information, Process, Management*, vol. 11, no. 2, pp. 136-41.
- Morrissey, J & Horne, RE 2011, 'Life cycle cost implications of energy efficiency measures in new residential buildings', *Energy and Buildings*, vol. 43, no. 4, pp. 915-24.
- Naik, TR & Moriconi, G 2006, 'Environmental-friendly durable concrete made with recycled materials for sustainable concrete construction', *University of Wisconsin-Milwaukee*.
- Neufert, P & Neff, L 2007, *Casa, vivienda, jardín.: El proyecto y las medidas en la construcción*.
- Papadopoulos, AM 2005, 'State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments', *Energy and Buildings*, vol. 37, no. 1, pp. 77-86.
- Pargana, NGSC 2012, 'Environmental impacts of the life cycle of thermal insulation materials of buildings'.
- Pedraz, CG 2013, *Proyecto Colrecept. Una salida sostenible para los residuos de poliestireno expandido*, viewed (VI/16/2015) <<http://www.ingenieros.es/noticias/ver/proyecto-colrecept-una-salida-sostenible-para-los-residuos-de-poliestireno-expandido/3963>>.
- Pietrosemoli, L & Rodríguez Monroy, C 2013, 'The impact of sustainable construction and knowledge management on sustainability goals. A review of the Venezuelan renewable energy sector', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 27, pp. 683-91.
- Ramachandran, VS, Paroli, RM, Beaudoin, JJ & Delgado, AH 2002, *Handbook of thermal analysis of construction materials*, William Andrew.
- Raut, SP, Ralegaonkar, RV & Mandavgane, SA 2011, 'Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks', *Construction and building materials*, vol. 25, no. 10, pp. 4037-42.
- Robichaud, LB & Anantamula, VS 2010, 'Greening project management practices for sustainable construction', *Journal of Management in Engineering*, vol. 27, no. 1, pp. 48-57.
- Rooshdi, RRRM, Rahman, NA, Baki, NZU, Majid, MZA & Ismail, F 2014, 'An Evaluation of Sustainable Design and Construction Criteria for Green Highway', *Procedia Environmental Sciences*, vol. 20, pp. 180-6.
- Ross, RJ 2010, 'Wood handbook: wood as an engineering material'.
- SADM-IPD 2011, *Baños de vapor y sauna*, Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey I. P. D., viewed 02/10/2014 2014, <<https://www.sadm.gob.mx/PortalSadm/jsp/prensa.jsp?id=299>>.
- Santin, OG 2009, 'Environmental assessment of construction trends in Mexico: towards sustainable building?', *Structural Survey*, vol. 27, no. 5, pp. 361-71.
- Sev, A 2009, 'How can the construction industry contribute to sustainable development? A conceptual framework', *Sustainable Development*, vol. 17, no. 3, pp. 161-73.

- Shafii, F, Arman Ali, Z & Othman, MZ 2006, 'Achieving sustainable construction in the developing countries of Southeast Asia'.
- Shelbourn, MA, Bouchlaghem, DM, Anumba, CJ, Carillo, PM, Khalfan, MMK & Glass, J 2006, 'Managing knowledge in the context of sustainable construction', *ITcon*, vol. 11, pp. 57-71.
- Shen, L-y, Tam, VWY, Tam, L & Ji, Y-b 2010, 'Project feasibility study: the key to successful implementation of sustainable and socially responsible construction management practice', *Journal of Cleaner Production*, vol. 18, no. 3, pp. 254-9.
- Sieffert, Y, Huygen, JM & Daudon, D 2013, 'Sustainable construction with repurposed materials in the context of a civil engineering–architecture collaboration', *Journal of Cleaner Production*.
- Society, NAS 2014, *North American Sauna Society* 2014, <<http://saunasociety.org/index.html>>.
- Tan, Y, Shen, L & Yao, H 2011, 'Sustainable construction practice and contractors' competitiveness: A preliminary study', *Habitat International*, vol. 35, no. 2, pp. 225-30.
- Taylor, T, Counsell, J & Gill, S 2013, 'Energy efficiency is more than skin deep: Improving construction quality control in new-build housing using thermography', *Energy and Buildings*, vol. 66, pp. 222-31.
- Tian, Y & Zhao, C-Y 2013, 'A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications', *Applied Energy*, vol. 104, pp. 538-53.
- Warnock, AC 2007, 'An overview of integrating instruments to achieve sustainable construction and buildings', *Management of Environmental Quality: An International Journal*, vol. 18, no. 4, pp. 427-41.
- Yates, JK 2013, 'Sustainable methods for waste minimisation in construction', *Construction Innovation: Information, Process, Management*, vol. 13, no. 3, pp. 281-301.
- Zabihi, H, Habib, F & Mirsaeedie, L 2012, 'Sustainability in Building and Construction: Revising Definitions and Concepts', *International Journal of Emerging Sciences*, vol. 2, no. 4, pp. 570-8.
- Zeng, SX, Tian, P & Shi, JJ 2005, 'Implementing integration of ISO 9001 and ISO 14001 for construction', *Managerial Auditing Journal*, vol. 20, no. 4, pp. 394-407.