



MASTER ARQUITECTURA Y SOSTENIBILIDAD: HERRAMIENTAS DE DISEÑO Y TÉCNICAS DE CONTROL
M E D I O A M B I E N T A L



SOSTENIBILIDAD Y CICLO DE VIDA DE LOS MATERIALES

UMAÑA MORERA, MARISEL

04-ABRIL-2011



Resumen

El presente trabajo tiene por objetivo analizar algunos de los conceptos, herramientas y principios que nos ayudan a comprender el impacto ambiental que generan los materiales de construcción en sus distintas fases.

La metodología empleada para la formulación de este documento está basada en dos técnicas:

- recolección de información de diversas fuentes bibliográficas; (libros, artículos, proyectos de investigación, etc.) y
- selección de datos.

Los materiales se utilizan en diferentes etapas del ciclo de vida de un edificio, sin embargo es durante la etapa de diseño cuando se toman las decisiones sobre los productos, equipos y sistemas que se utilizarán. El impacto ambiental global del edificio, el consumo energético y su huella ecológica estarán determinados por esa selección de materiales.

La metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta que se analizará en este documento, y puede ser útil para alcanzar diversos objetivos, desde realizar estudios comparativos de productos, equipos y sistemas que tengan una misma función, hasta realizar balances globales considerando todos los impactos ambientales producto de las diferentes etapas de los materiales que incorporamos al proyecto: producción, transporte, puesta en obra, vida útil, desinstalación y gestión de los residuos que se generan.

Si nos proponemos aplicar medidas de construcción sostenible, es fundamental adoptar una visión integrada, desde la extracción de las materias primas hasta la gestión de sus residuos una vez derribada la obra.



Índice

RESUMEN	2
ÍNDICE	3
1 INTRODUCCIÓN	4
2 SOSTENIBILIDAD	5
2.1 Desarrollo Sostenible	5
2.2 El impacto de los edificios su vida útil y el de las ciudades dentro de la visión de desarrollo sostenible	6
2.3 Avances hacia el Desarrollo Sostenible	8
3 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LOS MATERIALES	9
3.1 Concepto	9
3.2 Objetivos del Análisis del Ciclo de Vida	11
3.3 Fases del Análisis de Ciclo de Vida	12
3.3.1 Fase de definición del objetivo y el alcance	12
3.3.2 Fase de análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV)	13
3.3.3 Fase de Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)	13
3.3.4 Fase de Interpretación del Ciclo de Vida	15
3.4 Ventajas del Análisis del Ciclo de Vida	16
3.5 Desventajas del Análisis del Ciclo de Vida	16
4 CONSIDERACIONES SOBRE SOSTENIBILIDAD EN LA SELECCIÓN DE MATERIALES	
4.1 Impacto Medioambiental de los Materiales de Construcción	18
5 MATERIALES SALUDABLES	21
5.1 Arquitectura Tradicional y los Materiales de Construcción	21
5.2 Materiales de Construcción Naturales	22
5.2.1 Piedra	23
5.2.2 Madera	23
5.2.3 Tierra	23
5.2.4 Paja y Fibras Vegetales	24
5.3 La Salud y los Materiales	24
6 CONCLUSIONES	26
7 BIBLIOGRAFÍA	27



1 INTRODUCCIÓN

El impacto ambiental producido por la industria de la construcción, constituye una deuda aún pendiente de nuestras sociedades con el medioambiente; para subsanar y evitar que se acreciente éste adeudo, es necesario aplicar de forma inmediata herramientas y sistemas de evaluación como el Análisis de Ciclo de Vida de los Materiales; el cual incorpora los principios ecológicos al desarrollo de los proyectos.

Antiguamente los materiales utilizados eran naturales, propios de la biosfera, procedentes del entorno inmediato, de fabricación simple y adaptados a las condiciones climáticas del territorio donde se llevaba a cabo la edificación.

Pero algunos cambios como el aumento de la distancia para la obtención de materias primas, el agotamiento de recursos naturales próximos y la emisión de contaminantes derivados de la industria de la construcción han sido los responsables de la carga ambiental que hemos ocasionado a nuestro ecosistema.

2 SOSTENIBILIDAD

2.1 Desarrollo Sostenible

La definición de desarrollo sostenible fue formalizada por la Comisión para el Medio Ambiente de la ONU en el documento conocido como informe Brundtland en 1987.

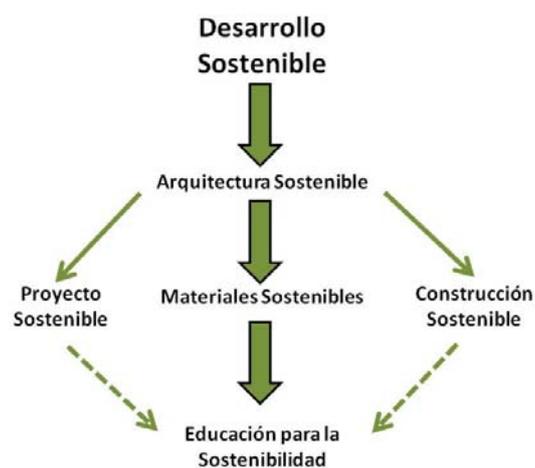
Esta definición aborda las necesidades de recursos medioambientales de las generaciones tanto presentes como futuras y define el desarrollo sostenible como aquel *“que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades”*.¹

Esta definición ha sido adaptada a las necesidades particulares de cada sector, en el ámbito de la arquitectura por ejemplo; el estudio Norman Foster + Partners, define la arquitectura sostenible como la creación de edificios *“que sean eficientes en cuanto al consumo de energía, saludables, cómodos y flexibles en el uso y pensados para tener una larga vida útil”*.

La Building Services Research and Information Association (Asociación para la Información e Investigación sobre las Instalaciones de los Edificios, BSRIA) ha definido la construcción sostenible como *“la creación y gestión de edificios saludables basados en principios ecológicos y en el uso eficiente de los recursos”*.

Lo anterior demuestra que el concepto de *“desarrollo sostenible”* tiene numerosas y amplias derivaciones pero con un común denominador el cual se basa en que el crecimiento y el bienestar social deben procurar la conservación de los recursos medioambientales por parte de la generación actual, en beneficio de las generaciones futuras.

Figura 1. Concepto de Desarrollo Sostenible



Fuente: Guía básica de la Sostenibilidad

¹ Brian Edwards. Guía básica de la Sostenibilidad, pág.20

En el 2002 se celebró la Cumbre Mundial de Johannesburgo sobre Desarrollo Sostenible y se introduce un nuevo concepto “*consumo y producción sostenibles*” el cual tiene como fin establecer una relación entre productividad, consumo de recursos y los grados de contaminación. Los acuerdos logrados en ésta cumbre tratan de impulsar la inversión en nuevas tecnologías energéticas y formas de reciclaje o reutilización de residuos para lograr garantizar:

1. que el crecimiento económico no cause contaminación ambiental en el ámbito regional y global
2. la eficiencia en el consumo de recursos
3. la información a los consumidores sobre productos y servicios
4. la utilización de los impuestos y la normativa para fomentar la innovación en el campo de las tecnologías limpias
5. y “*el análisis del ciclo de vida completo de un producto*”.

2.2 El impacto de los edificios su vida útil y el de las ciudades dentro de la visión de desarrollo sostenible

Desde finales del siglo XX la preocupación por el impacto ambiental provocado por la construcción de edificios y ciudades ha ido aumentando día con día; cómo parte de una necesidad ética de los profesionales y los entes involucrados en éste proceso de desarrollo.

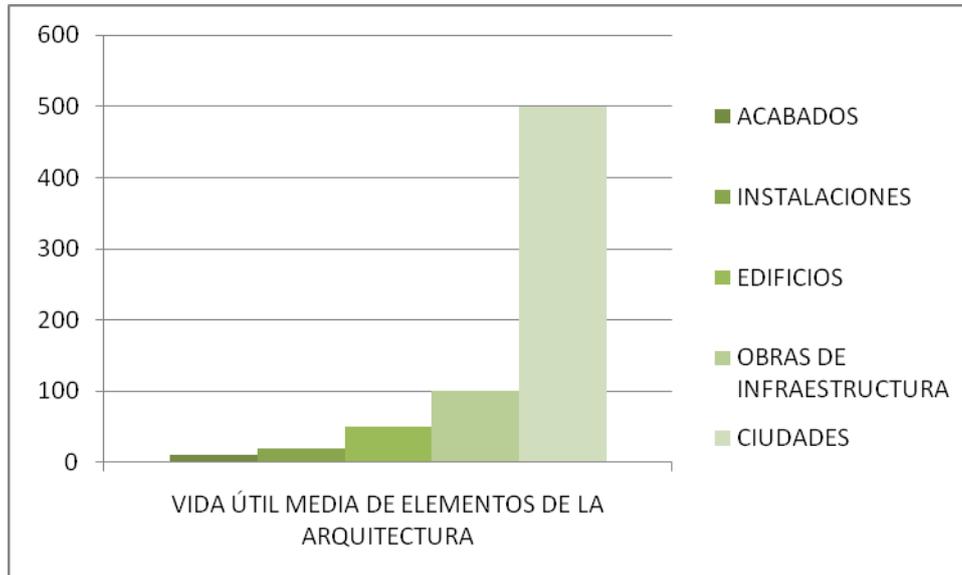
Para entender ésta situación, primero debemos conocer cuál es el impacto provocado en todo el *sistema ambiental planetario*² para comprender porque necesitamos un cambio de dirección.

En la consecución del desarrollo sostenible los edificios y las ciudades desempeñan un papel muy importante. *La vida útil de los edificios es larga y la de las ciudades aún más; formarán parte de un futuro cuyos recursos, contaminación y clima nos son desconocidos.*³

² Carlos Álvarez. *Materiales y Construcción Sostenible*, pág. 1

³ Brian Edwards. *Guía básica de la Sostenibilidad*, pág. 23

Figura 2. Gráfico de años de vida útil media de los elementos de la arquitectura



Fuente: Guía básica de la Sostenibilidad

La construcción de ciudades y edificios tiene un gran impacto en la salud del planeta; los edificios son grandes consumidores de materias primas, requieren de un capital medioambiental considerable y su impacto en término de residuos es alarmante.

El 60% de todos los recursos mundiales se destinan a la construcción de carreteras, edificios y viviendas. Se utiliza aproximadamente un 50% de la energía generada para calentar, iluminar y ventilar edificios y un 3% adicional para su construcción. Un 50% del agua utilizada a nivel mundial se usa para abastecer instalaciones sanitarias y otros usos en los edificios. El 80% de la tierra que podría ser aprovechada para la agricultura se destina a la construcción y el 60% de los productos madereros mundiales son consumidos en edificaciones.

Conociendo éstos porcentajes es fácil entender porqué estamos comprometiendo los recursos disponibles para las futuras generaciones sin mencionar los graves daños ocasionados a la biodiversidad local de especies que son imprescindibles para mantener la salud y el equilibrio ecológico del planeta.

Desde esta perspectiva los edificios y las ciudades adquieren un valor distinto, son activos inter-generacionales y su valor a largo plazo depende de la capacidad de satisfacer las necesidades de los usuarios, las condiciones medioambientales variables y la evolución de las expectativas sobre la calidad del proyecto. *Los edificios iluminados y ventilados de forma natural, los que utilizan fuentes alternativas de energía, y los que resultan atractivos para los consumidores, probablemente serán inversiones más sólidas que los que dependen demasiado*

de los combustibles fósiles o desoyen la necesidad humana básica de disfrutar de un estilo de vida saludable.⁴

Figura 3. Cuadro comparativo

COMPARACIÓN DEL IMPACTO DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEL USO DE LOS EDIFICIOS		
<u>IMPACTO</u>	<u>CONSTRUCCIÓN</u>	<u>USO</u>
RECURSOS ENÉRGICOS	MEDIO	ALTO
AGUA	MEDIO	ALTO
RECURSOS MINERALES	ALTO	BAJO
TRANSPORTE	MEDIO	ALTO
CONTAMINACIÓN DEL AIRE	BAJO	MEDIO
CONTAMINACIÓN DEL AGUA	ALTO	BAJO
CONTAMINACIÓN ACÚSTICA	ALTO	BAJO
IMPACTO VISUAL	ALTO	MEDIO
IMPACTO SOBRE FLORA Y FAUNA (BIODIVERSIDAD)	ALTO	BAJO
RESIDUOS SÓLIDOS	MEDIO	ALTO
SALUD	ALTO	MEDIO

Fuente: Guía básica de la Sostenibilidad

2.3 Avances hacia el Desarrollo Sostenible

La disponibilidad de un marco de información adecuado es indispensable para la planificación y puesta en marcha de todo plan de acción dirigido a lograr el desarrollo sostenible. En el ámbito internacional existen numerosos organismos que han desarrollado sistemas para evaluar la efectividad de estos planes; con el fin de impulsar la utilización de éste tipo de instrumentos a escala nacional, regional y local.

Los objetivos en las evaluaciones de los planes de acción son medir y comparar los avances a través del tiempo, tomando en cuenta aspectos cómo: contaminación producida en el lugar dónde se realizan las construcciones y dónde se fabrican los materiales, eliminación y reciclaje de residuos, consumo de energías renovables, etc.

Para alcanzar los objetivos requeridos por el desarrollo sostenible, en primer lugar se necesita de una sociedad preparada y equipada con el conocimiento de los nuevos valores y educación en el uso de los recursos medioambientales, arquitectos, ingenieros y constructores que actúen

⁴ Brian Edwards. Guía básica de la Sostenibilidad, pág 25

aplicando códigos deontológicos; capaces de edificar con un mínimo de recursos, para no heredar un legado hipotecado a las futuras generaciones. *Los arquitectos deben de respetar y conservar los sistemas de valores y el patrimonio natural y cultural de la comunidad en la que desarrollan su trabajo. Deben tratar de mejorar el medio ambiente, la calidad de vida y el habitar de la comunidad de una forma sostenible.*⁵

Adquirir la educación necesaria por parte de profesionales en el campo de la construcción y la población en general es uno de los objetivos de la ONU (Organización de la Naciones Unidas) mediante la UNESCO (United Nation Educational, Scientific and Cultural Organization); quien intenta movilizar a los gobiernos a través de un programa internacional de educación sobre medio ambiente. El plan se basa en los siguientes puntos clave:

- *el desarrollo sostenible debería formar parte integral del proceso de desarrollo*
- *deben respetarse las necesidades de las generaciones futuras*
- *la raíz del desarrollo sostenible es la preocupación por los seres humanos*
- *la creatividad, los ideales y el valor de la juventud deberían aprovecharse para forjar una alianza a favor del desarrollo sostenible*⁶

La clave de todos estos procesos de enseñanza y aplicación de acciones radica en el compromiso con el desarrollo sostenible que establezcan los gobiernos, las instituciones y cada individuo, apoyados en los factores de educación, legislación, tributación, eficiencia en la práctica profesional.

3 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LOS MATERIALES

3.1 Concepto

El análisis del ciclo de vida (ACV), es una de las herramientas que existen para cuantificar el efecto de la construcción en el medio ambiente; mediante un estudio que permite evaluar los impactos ambientales de un producto o servicio durante las etapas de su existencia.

Es un proceso que incorpora los principios ecológicos al desarrollo del proyecto y valora el rendimiento medioambiental de los edificios según un planteamiento global; es decir mide los costos ecológicos de los aportes de recursos energéticos o manufacturados, analizados según

⁵ Carlos Álvarez. *Materiales y Construcción Sostenible*, pág. 2

⁶ Brian Edwards. *Guía básica de la Sostenibilidad*, pág. 31

criterios medioambientales. En el caso de un edificio; el ACV se centra en el impacto de su construcción, uso y posterior eliminación.

El ACV identifica los flujos de materiales, energía y residuos que genera un edificio durante toda su vida útil, de manera que el impacto ambiental pueda determinarse por adelantado. Los flujos analizados engloban la extracción de materias y su uso, reutilización reciclaje o eliminación. Normalmente hay tres opciones al final de la vida útil de un edificio:

- *reutilización de las partes en una nueva construcción;*
- *reciclaje del material (por ejemplo, cómo áridos para hormigón nuevo)*
- *derribo del edificio y vertido de los escombros en un vertedero controlado*

Es preferible reutilizar que reciclar (debido a los costes energéticos que supone transformar un material), y es preferible reciclar que eliminar. Éste sería un último recurso, ya que la capacidad de los vertederos es cada vez más escasa, los impuestos que gravan los residuos aumentan y la producción de metano y otros gases emitidos contribuyen al calentamiento global. A veces es posible reciclar los residuos para producir energía o fertilizantes. El ACV considera las diferentes alternativas posibles al final de la vida útil del edificio, y plantea su toma en consideración por el proyectista al inicio del proceso.

El ACV se diferencia de otros métodos de auditoría medioambiental en que su evaluación del impacto no se limita al solar donde se ubica el edificio. No sólo se consideran todos los factores ecológicos en el tiempo, sino también en una amplia área geográfica.⁷

A partir de este concepto de ACV se ha desarrollado otro concepto derivado del mismo proceso de evaluación: *el análisis del Coste del Ciclo de Vida CCV⁸*, que considera el costo económico del edificio durante toda su vida la cual se estima entre 30 y 50 años; y contempla el valor neto de los costos del proyecto, construcción, funcionamiento (calefacción, iluminación, ventilación, etc.) y mantenimiento (revisión de los sistemas de aire acondicionado, etc.) del edificio, calculados durante su vida útil.

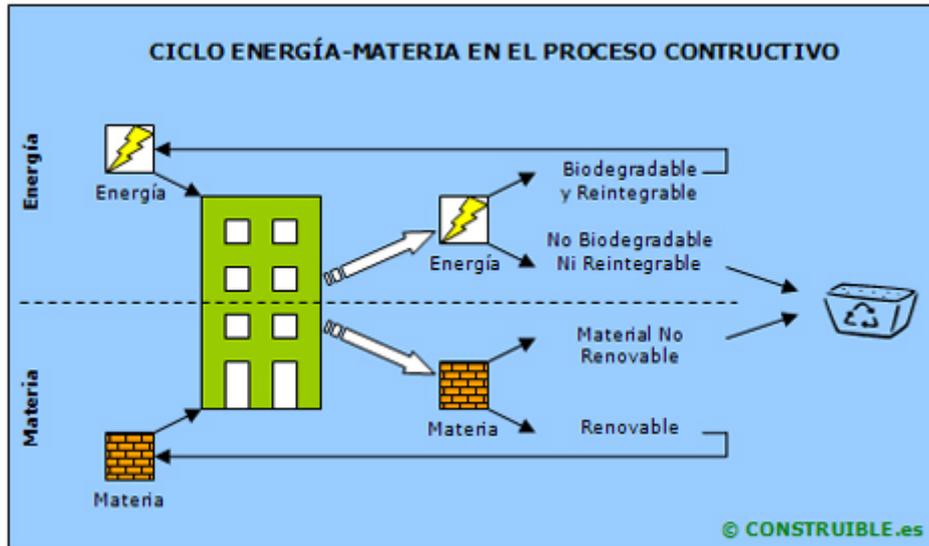
Los costos de inversión que se contemplan en el ACV; deben ser analizados en el contexto del *costo global del edificio en el tiempo⁹* lo que permite analizar de manera conjunta, el costo inicial, el valor medioambiental, el mantenimiento, la posibilidad de reciclaje y la reutilización.

⁷ Brian Edwards. *Guía básica de la Sostenibilidad*, pág. 114-115

⁸ *Ibíd.*, pág. 112

⁹ *Ibíd.*, pág. 113

Figura 4. Ciclo Energía-Materia en el proceso constructivo



Fuente: www.construible.es

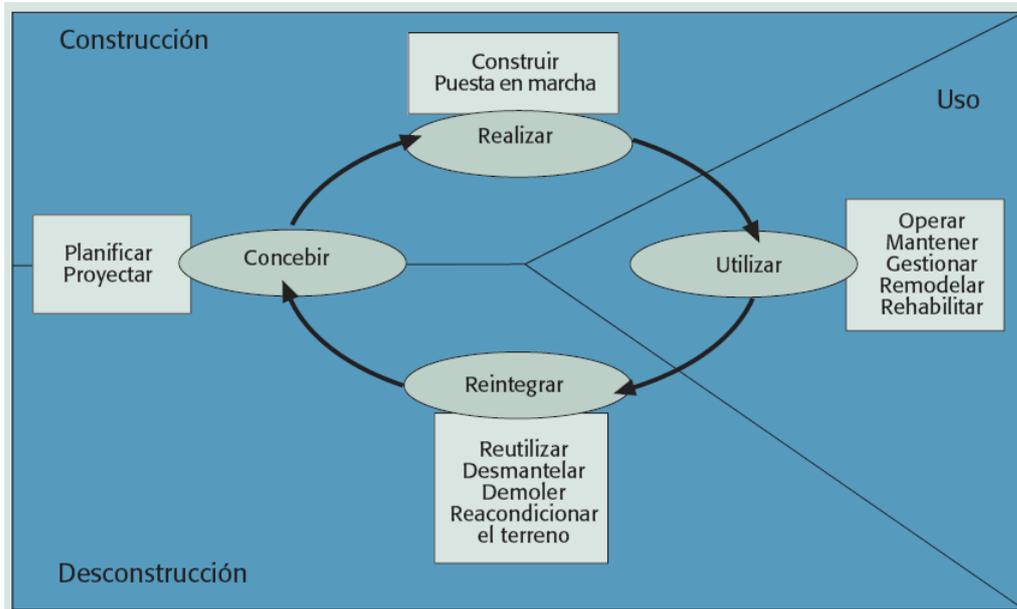
3.2 Objetivos del Análisis del Ciclo de Vida

Uno de los objetivos del ACV, es obtener información sobre el impacto ecológico integral que produce un edificio durante su vida útil para lograr adoptar decisiones acertadas. Asimismo se enfoca en el estudio de los impactos relacionados con los sistemas ecológicos, la salud humana y el agotamiento de los recursos.

Los objetivos del ACV son aplicables a diversos fines, no sólo al proceso de construcción y entre los principales destacan:

- Identificar los procesos, ingredientes y sistemas que constituyen un impacto ambiental
- Comparar diferentes opciones para un proceso en particular con el fin de minimizar los impactos ambientales
- Guiar las planificaciones estratégicas a largo plazo relacionadas con el diseño de productos y materiales
- Evaluar los efectos sobre los recursos naturales asociados con determinados productos
- Introducir a los diseñadores en la utilización de materiales más armoniosos con el ambiente

Figura 5. Construcción y Ciclo de Vida



Fuente: www.planeamientoyurbanismo.com

3.3 Fases del Análisis de Ciclo de Vida

El análisis de ciclo de vida se compone de cuatro fases principales:

1. Fase de definición del objetivo y el alcance: se definen los límites del sistema; el nivel de profundidad del ACV y el uso previsto del estudio.
2. Fase de análisis del inventario (ICV): esta fase consiste en un inventario de datos para cumplir los objetivos definidos.
3. Fase de evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV): proporciona información adicional para ayudar a evaluar los resultados del ICV con el objetivo de comprender mejor su importancia ambiental.
4. Fase de interpretación: se valoran los resultados obtenidos en las fases anteriores como base para realizar las conclusiones, recomendaciones y toma de decisiones de acuerdo con los objetivos y alcances definidos.

3.3.1 Fase de definición del objetivo y el alcance

Esta fase define la aplicación prevista, las razones para realizar el estudio y la previsión de utilizar los resultados en comparativas de varios productos.

Para delimitar esta fase, es necesario considerar varias etapas del ciclo de vida: fabricación, expedición, puesta en obra, vida útil, demolición y reciclado de los materiales.

- Fabricación: consiste en la obtención de materias primas y el proceso de fabricación.
- Expedición: contempla los parámetros para el transporte de los materiales hasta el punto de consumo.
- Puesta en obra: toma en cuenta los recursos necesarios para el proceso de construcción.
- Vida útil: valora los recursos utilizados en el decurso de la vida efectiva del material.
- Demolición y Reciclado: analiza los recursos empleados al final de la vida útil y las posibilidades de reciclaje del material.

3.3.2 Fase de análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV)

Aquí se obtendrán los datos necesarios para los cálculos de las emisiones al aire, agua y suelo en cada una de las etapas definidas en la fase anterior.

3.3.3 Fase de Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)

El objetivo de esta fase es convertir los datos obtenidos en el ICV en resultados interpretables y estudiar las categorías de impacto para cada material, como por ejemplo:

- Efecto invernadero: la emisión de gases como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxidos de nitrógeno (NO_x), clorofluorocarbonos y ozono (O₃); es la responsable de los cambios en el clima a nivel mundial, alteraciones en las temperaturas regionales, en los regímenes de lluvia, en la agricultura, el incremento de la desertificación y la descongelación de los casquetes polares, elevando el nivel del mar y causando inundaciones en las zonas costeras y continentales en todo el mundo.
- Toxicidad: producto de los procesos industriales; en los cuales son utilizadas sustancias que ponen en riesgo la salud humana y de los ecosistemas. Pueden causar daño inmediato ó mediano plazo, por una exposición continua a una toxina durante un período de tiempo prolongado.
- Agotamiento de los recursos naturales: en el ACV, se mide el consumo de los recursos respecto a su escasez; *así la relevancia ambiental del consumo de un recurso es inversamente proporcional a su abundancia y directamente proporcional a su ritmo de explotación.*¹⁰

¹⁰ Meritxell Bellart. Impacto Ambiental y Ciclo de Vida de los Materiales de Construcción, pág. 29

Existen dos energías no renovables presentes en la mayoría de etapas del ciclo de vida de los materiales cuyo agotamiento causará serios problemas a nivel mundial, el petróleo y el gas natural.

Según AOP (Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos) a finales del 2006, las reservas mundiales probadas de petróleo ascendían a 164.500 millones de toneladas. Ese mismo año se producían 3.914 millones de toneladas de petróleo, prácticamente la misma cantidad que en el 2005 (3.897 toneladas). El dato sobre la producción es de gran importancia ya que permite averiguar la duración de las reservas mundiales si no se encontraran nuevos yacimientos.

De esta forma si la producción de petróleo siguiera en el futuro al mismo ritmo que en el 2006, las reservas mundiales durarían 40,5 años. Respecto al gas natural, las reservas mundiales a finales del 2006 ascendían a 181.46 trillones de metros cúbicos y según el libro “34 Kg CO₂” del Department de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya, se podrían agotar en 45 años.

El petróleo y sus derivados son una de las fuentes más contaminantes a nivel mundial. Para la reducción de emisiones de CO₂, se han comenzado a implantar en las estaciones de servicio surtidores cuyo objetivo es recuperar los vapores que libera el combustible (gasolina ó gasóleo) cuando se reposta, con lo que se minimiza la emisión de los gases contaminantes.

Otra de las medidas para la reducción de emisiones se implantó en el año 2002 con la distribución de la nueva gasolina sin plomo, garantizando una mejora considerable en el entorno y en la calidad del aire. En enero del 2003 entró en vigor la reducción del azufre en los gasóleos y fuelóleos, de acuerdo con las directrices de la Unión Europea.

Según la AOP las empresas de este sector optan por utilizar tecnologías solares fotovoltaicas en muchos de sus proyectos y la instalación de sistemas en líneas refineras que permiten la reutilización de residuos. Dichas empresas participan en organismos internacionales cuyo fin es la conservación del medio ambiente. Asimismo, colaboran en programas de mejora del medioambiente tales como las reforestaciones.

Hoy en día, como alternativas a los combustibles derivados del petróleo se encuentran el biodiesel, aceite combustible con características comparables al diesel que se extrae principalmente de las semillas oleaginosas de diferentes plantas y el bioetanol, alcohol procedente de restos vegetales, que se puede utilizar mezclándolo con otros combustibles o para fabricar una base que permite la creación de combustibles más ecológicos.

Otra materia prima que se ha de tener en cuenta en este apartado, por ser muy susceptible a su agotamiento, es el agua. La escasez de este líquido vital obliga a realizar una llamada a la moderación de su consumo por parte de la población. Sólo muy poco agua es utilizada para el consumo del hombre, ya que: el 90% es agua de mar y tiene sal, el 2% es hielo y está en los polos, y sólo el 1% de toda el agua del planeta es dulce, encontrándose en ríos, lagos y mantos subterráneos. Además el agua tal como se encuentra en la naturaleza, para ser utilizada sin riesgo para el consumo humano requiere ser tratada, para eliminar las partículas y organismos que puedan ser dañinos para la salud.

Se espera que en el 2025, la demanda de este elemento será un 56% superior que el suministro. Actualmente se calcula que para los 6250 millones de habitantes a los que hemos llegado se necesitaría ya un 20% más de agua.¹¹

- Energía consumida: se considera que la energía consumida por un material es toda aquella asociada a la vida útil del material, considerando las cinco etapas mencionadas (fabricación, expedición, puesta en obra, vida útil y demolición y reciclado).
- Generación de residuos sólidos y líquidos: contabiliza la cantidad de residuos que se generan a lo largo de las cinco etapas del ciclo de vida útil de un material

3.3.4 Fase de Interpretación del Ciclo de Vida

En esta fase se identifican los puntos del proyecto más significativos de acuerdo a los objetivos y alcances definidos y se proponen posibles soluciones o propuestas de mejora.

Se realiza una revisión crítica para verificar si se han cumplido los requisitos de metodología, datos, interpretación e información. Esta revisión, es realizada por un agente externo para evaluar la veracidad de los datos obtenidos.

¹¹ Meritxell Bellart. **Impacto Ambiental y Ciclo de Vida de los Materiales de Construcción**, pág. 29-30

Figura 6. Ciclo de Vida del Cobre



Fuente: www.codelco.com

3.4 Ventajas del Análisis del Ciclo de Vida

Es común que el costo de los edificios sea medido en base al capital inicial y no se tomen en cuenta los costos de explotación a lo largo de los cincuenta años o más de vida útil ni los costos externos (contaminación, residuos, daños ecológicos, etc.).

El ACV, cómo herramienta de evaluación tiene 3 ventajas:

1. Introduce el concepto de duración en la evaluación, lo que permite evaluar los diferentes impactos y los ciclos de reciclaje;
2. Analiza el impacto energético, ecológico y medioambiental desde el punto de vista del beneficio social y económico;
3. Es una herramienta integral que enlaza el proyecto con la fabricación, la construcción y el mantenimiento.

3.5 Desventajas del Análisis del Ciclo de Vida

El proceso ACV, estudia individualmente los diferentes materiales y productos de la construcción y analiza de manera sistemática el impacto ecológico de cada material en el tiempo. *Lamentablemente la construcción es mucho más compleja y emplea a menudo los materiales de forma combinada, de manera que las ventajas del ciclo de vida de un material*

*pueden quedar anuladas por las de otro.*¹² Ejemplo de ello la pintura que recubre el acero y el mortero de cemento en los ladrillos, dificultando en el caso del acero su reutilización y el reciclaje en el caso de los ladrillos.

A raíz de este problema en Holanda se empezó a utilizar un sistema denominado Eco-Quantum, el cual analiza el ciclo de vida de unidades enteras de construcción, como ventanas (incluyendo el vidrio y el marco ó bastidor), muros de carga (ladrillos, mortero y cimientos), etc. El sistema Eco-Quantum, consta de cuatro partes:

- Extracción de materias primas y residuos
- Impacto sobre la salud, toxicidad, calentamiento global
- Análisis del ciclo de vida de instalaciones y electrodomésticos
- Impacto del transporte y del uso de los materiales

Así como este sistema, existen diversas herramientas para evaluar la sostenibilidad de un proyecto; algunas se centran en el consumo de energía, mientras que otras adoptan una perspectiva más amplia, pero todas ellas parten de los principios del ACV.

Algunos de los sistemas más reconocidos y utilizados para la evaluación de proyectos son:

- Sustainability Assessment Model (SAM) ó Modelo de Evaluación Sostenible, el cual evalúa el proyecto durante la totalidad del ciclo de vida a partir de indicadores de rendimiento agrupados en apartados que hacen referencia a los tres principios básicos de sostenibilidad: la protección medioambiental, el bienestar social, y la prosperidad económica incluyendo el concepto de disponibilidad de recursos.
- Eco-Management and Audit Scheme (EMAS) ó Plan de Eco-gestión y Auditoría, es una herramienta genérica de análisis muy similar al ACV, pero exige que el rendimiento medioambiental se audite a través de una empresa externa y que sus resultados sean publicados.
- Environmental Management Systems (EMS) es una herramienta basada en cinco pasos: desarrollo de una política medioambiental, establecimiento de objetivos medibles, realización de los objetivos, seguimiento de las prestaciones y toma de medidas correctoras y revisión sistemática de la política.
- Leadership in Energy & Environmental Design (LEED), sistema de certificación de edificios sostenibles desarrollado por el el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos (US Green Building Council). Constituido por un conjunto de normas sobre la utilización de estrategias de sostenibilidad; se basa en la eficiencia energética y uso de energías alternativas, la mejora de la calidad ambiental interior, la eficiencia en el consumo de agua, el desarrollo sostenible de los espacios libres y la selección de materiales.
- BREEAM, sistema utilizado para evaluar edificios de oficinas, se basa en una tabla de puntuación que permite comparar distintas estrategias previas a la construcción. Los resultados evalúan desde la contaminación atmosférica mundial hasta los impactos

¹² **Brian Edwards. Guía básica de la Sostenibilidad, pág. 114**

- locales que afectan la salud humana. Los factores que se ponderan son: emisiones de CO₂, calidad del aire y ventilación, medidas contra el agotamiento de la capa de ozono y lluvia ácida, reciclaje y reutilización de los materiales, ecología del emplazamiento, ahorro de agua, ruido, riesgo de legionelosis, materiales peligrosos e iluminación.
- SEAM, sistema de auditoría ambiental desarrollado para evaluar centros escolares. La auditoría toma en cuenta aspectos como, consumo de energía, ahorro de agua y reciclaje entre otros; y está vinculada a un plan de acción.
 - BREDEM, método de evaluación medioambiental desarrollado para edificios domésticos. Consiste en un conjunto de programas informáticos diseñados para calcular el consumo de calefacción de distintas tipologías de viviendas; tomando en cuenta factores como ubicación, orientación y capacidades de aislamiento de los materiales.

4 CONSIDERACIONES SOBRE SOSTENIBILIDAD EN LA SELECCIÓN DE MATERIALES

4.1 Impacto Medioambiental de los Materiales de Construcción

Los materiales utilizados en la construcción ejercen un impacto ambiental producido por su extracción, procesamiento, transporte uso y eliminación. Este impacto ocurre en el ámbito mundial y regional; afectando el clima, la biodiversidad y la salud de las personas.

Figura 7. Consideraciones sobre Sostenibilidad en la Selección de Materiales

Consideraciones sobre Sostenibilidad en la Selección de Materiales	
Hay varios aspectos que cualquier arquitecto preocupado por el impacto ambiental de los materiales que integrarán su edificio debería considerar. Una breve lista de esos aspectos podría ser la siguiente:	
<p>El impacto de la producción del material: destrucción del hábitat, emisiones tóxicas.</p> <p>Cualquier riesgo para la salud o el entorno local durante el proceso de construcción ó el posterior uso.</p> <p>La vida útil del material.</p> <p>El destino final del material después de la vida útil del edificio: la reutilización es mejor que el reciclaje, que a su vez es mejor que la incineración o que acabe en el vertedero.</p> <p>La reducción o separación de los residuos de construcción y la eliminación cuidadosa de los residuos tóxicos.</p>	Materiales utilizados en cantidades de 250 kg o menos
<p>La naturaleza de los recursos implicados: renovables o no renovables, escasos o abundantes.</p> <p>Las emisiones de CO₂ (en kg/kg) durante su producción o , si esa información no está disponible, la energía incorporada en (kWh/kg).</p> <p>A qué distancia ó por qué medio se transportará el material, y las emisiones y el consumo de energía debido a ese transporte.</p>	Materiales utilizados en grandes cantidades

Fuente: Un Vitruvio Ecológico, principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible

No existe una única metodología que funcione como guía para los responsables de elegir los materiales que se emplearán en la construcción. *Suele utilizarse el concepto de “energía incorporada”, aunque a lo largo de la vida útil de un edificio, la de los materiales utilizados representa un 10% de la energía consumida por el uso del edificio. Sin embargo este concepto sirve para poner de manifiesto el elevado coste energético que conlleva el transporte de materiales voluminosos (piedra, áridos, ladrillos u hormigón) y el procesamiento de algunos materiales ligeros muy empleados (aluminio).*¹³

Figura 8. Energía incorporada de distintos materiales de construcción

ENERGÍA INCORPORADA DE DISTINTOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	
Material	Energía incorporada (kWh/t)
Acero	7.000
Aluminio	28.000
Cobre	18.000
Madera	1.000
Vidrio	2.000

Fuente: Guía básica de la Sostenibilidad

Existen tres principios que se derivan del concepto de energía incorporada:

- Abastecimiento local de los materiales pesados: materiales como la piedra, los áridos, ladrillos, etc., deben obtenerse de canteras o fabricantes situados cerca de la obra, para ahorrar energía en el transporte y reducir el impacto ambiental generado por ruido y contaminación. *Lo ideal sería que los materiales pudiesen fabricarse in situ (como los ladrillos cocidos al sol que suelen elaborarse en África u Oriente Medio como parte del proceso de construcción) u obtenerse dentro de un radio razonable (10km).*¹⁴ Aplicando este principio, además de reducir el impacto ambiental, contribuiríamos a fortalecer las técnicas locales de construcción con lo cual se generaría empleo para la comunidad dónde se desarrolla el proyecto.
- Abastecimiento global de los materiales ligeros: en el caso de materiales como el aluminio y el PVC, la mayor parte de la energía incorporada proviene del proceso de fabricación. *Sin embargo, debemos recordar que una vez que la*

¹³ Brian Edwards. Guía básica de la Sostenibilidad, pág. 122

¹⁴ *Ibíd.*, pág. 122

*energía ha permitido que se desarrolle el proceso de fabricación, la sociedad dispone de una reserva de recursos materiales que pueden utilizarse, reutilizarse o reciclarse. Esto representa una reserva de capital depositada en los edificios que puede liberarse al final de su vida útil.*¹⁵ Los materiales ligeros cumplen una función energética importante durante su período de vida, que reduce su carga de energía incorporada. En el caso del aluminio, para citar un ejemplo; tiene como propiedades la reducción de las necesidades de refrigeración en los edificios debido a que ayuda a captar la energía solar; con el paso del tiempo la energía obtenida de este modo compensa su elevada energía incorporada.

- **Potencial de reciclaje:** no sólo debemos considerar la energía incorporada al principio del proceso, sino también la que será necesario emplear en la etapa final de vida útil del edificio, la demolición. La reutilización y el reciclaje, y la garantía de que toda la energía incorporada residual sea extraída antes de que el material se deposite en un vertedero; son consideraciones que deben influir en la selección inicial de los materiales. Por ejemplo, a través de la combustión en una planta incineradora para la generación de electricidad, o bien en la producción de fertilizante mediante un proceso de fermentación que descompone los materiales en sustancias químicas o subproductos útiles.

Materiales como el yeso, el hormigón y el acero; permiten que los recursos empleados en la fabricación puedan recuperarse y convertirse en productos aprovechables al final de la vida útil del edificio.

Diseñar pensando que el edificio y sus partes puedan reutilizarse y sus componentes reciclarse, es la forma más sencilla de ahorrar energía en lo que respecta a los materiales. La reutilización se refiere a la destinación de un material a un nuevo uso sin sufrir ningún proceso importante de transformación. El reciclaje implica que el material sea procesado para convertirse en un nuevo producto.

Así como la energía es uno de los factores que determinan el grado de sostenibilidad de un producto, es importante tomar en cuenta otros impactos, como el agotamiento de las reservas de recursos, la contaminación del agua y del aire, los daños al patrimonio paisajístico, ecológico y cultural producto de la tala de árboles y la explotación de canteras.

Hasta el momento solamente se realizan análisis para evaluar la energía incorporada en los materiales, pero es posible que dentro de poco se deba desarrollar un método para contabilizar el agua incorporada; y con ello evitar el agotamiento de las reservas subterráneas de este preciado líquido.

Figura 9. Tabla comparativa entre el Acero y el Hormigón

¹⁵ **Brian Edwards. Guía básica de la Sostenibilidad, pág. 123**

¿ACERO U HORMIGÓN?	
Reciclaje	El acero, es un material que comunmente se rechaza siendo sustituido por el hormigón debido a su alta energía incorporada y baja capacidad térmica. Sin embargo el acero puede reciclarse indefinidamente, lo que permite que la energía incorporada sea explotada por futuras generaciones. Para que las estructuras de acero sean sostenibles, es necesario que hayan sido diseñadas uniones fácilmente desmontables (atomilladas, no soldadas) y con medidas estándar de sus componentes, esto garantizaría su reutilización.
Costos de reciclaje	La energía incorporada del acero es unas veinte veces más elevada que la del hormigón (en masa). Sin embargo es necesario considerar la energía incorporada en función de la relación peso/resistencia del material y de sus posibilidades de reutilización. Los costes energéticos de la fabricación del acero son altos, pero no así los de su reciclaje. Es sabido que la capacidad estructural del acero es mucho mayor que la del hormigón: una tonelada de acero proporciona un volumen de estructura mucho mayor que una cantidad similar de hormigón.
Transporte	Los costos de transporte, están relacionados con el peso del material. El transporte de acero, que es mucho más ligero que el hormigón, requiere menos energía. El hormigón requiere de menos energía en su proceso de fabricación; pero los costos energéticos de su transporte son mucho más elevados, lo que significa que debería de obtenerse de fuentes locales.
Utilización de agua	El acero consume menos agua que el hormigón y su fabricación contamina menos las redes de saneamiento. En la mayoría de las fábricas de acero, el agua se reutiliza en un sistema cerrado, mientras que en la fabricación de hormigón es necesario extraer y lavar los áridos, lo cual aparte de consumir gran cantidad de agua, también la contamina.
Peso del edificio	Un edificio de acero pesa la mitad que uno de hormigón. Y este factor (el peso) es un buen criterio para calcular el impacto ambiental. La contaminación, el polvo, las molestias y el ruido suelen estar relacionados con él: cuanto más pesado es un edificio, mayor suele ser el impacto medioambiental.

Fuente: Guía básica de la Sostenibilidad

5 MATERIALES SALUDABLES

5.1 *Arquitectura Tradicional y los Materiales de Construcción*

La arquitectura local de cada región del mundo puede funcionar como referente; para comprender el entorno en el cual se desarrolla, el clima al que está ligado el proyecto y algunos de los principios de construcción sostenible: construcciones con materiales provenientes del entorno, utilización de fuentes de energía local y energías renovables, prácticas constructivas que fomentan el reciclaje y el respeto por la naturaleza.

Un alto porcentaje de la energía necesaria para calentar, iluminar o ventilar los edificios de arquitectura regional proviene de fuentes locales. Se obtiene de combustibles basados en el carbono, como madera, carbón, metano, combustibles derivados de la paja (excrementos de ganado) y fuentes renovables como el sol y el viento. *Las distintas fuentes de energía se combinan de forma muy ingeniosa, con variaciones locales que se adaptan a las condiciones climáticas. Por ejemplo, en los climas fríos del norte, la chimenea se utiliza para calentar el espacio, mientras que en lugares más próximos al ecuador su función principal es la ventilación. Del mismo modo, la tipología de vivienda con patio interior puede utilizarse en el norte para proporcionar abrigo de los vientos fríos, mientras que en el sur, la misma tipología, con sutiles variaciones, surge probablemente de la necesidad de guarecerse del calor del sol.*¹⁶

Los materiales de construcción empleados en la arquitectura regional, son por lo general de procedencia local; extraídos directamente del terreno o de los bosques. *Dado que en el pasado los costes de transporte eran elevados, los edificios populares suelen estar contruidos con materiales obtenidos en el entorno (que podía transportarse a mano, en carretas o por agua). A menudo el agua era el factor clave que determinaba la situación de los asentamientos, porque proporcionaba transporte y energía y permitía cultivar la tierra y garantizaba ciertas condiciones de salubridad. Por lo general, el peso de los materiales de construcción no sólo determinaba hasta dónde podían ser transportados, sino que también influía en la forma y el tamaño de los elementos constructivos. Con la arcilla se hacían ladrillos, mientras que la madera se aserraba en tablones que podían cargarse en balsas o transportarse más fácilmente por el bosque. La forma, la longitud y el tamaño de los materiales de construcción estaban directamente relacionados con la capacidad de los medios de transporte disponibles. Cuando los materiales eran demasiado pesados, era habitual que se construyera cerca del lugar de aprovisionamiento, sin transportarlos a mayor distancia. Por tanto, en aquellos lugares donde la piedra era el material de construcción predominante, las viviendas, los pueblos y las granjas se construían cerca de las canteras.*¹⁷

5.2 Materiales de Construcción Naturales

Los materiales de construcción naturales son indudablemente más sanos, y están siendo reexaminados para mejorar su bajo rendimiento técnico y valor estético, que ocasiona que sean reemplazados por materiales artificiales. El reto para los profesionales en arquitectura y en diseño es el desarrollo de nuevas técnicas de utilización de estos materiales para lograr proyectos más armoniosos con el ambiente e inspirados en los principios de la arquitectura regional.

¹⁶ Brian Edwards. Guía básica de la Sostenibilidad, pág. 166

¹⁷ *Ibíd.*, pág. 166 -167

5.2.1 Piedra

La piedra es uno de los materiales más antiguos de la construcción, se utiliza en la edificación de elementos estructurales como muros y paredes. Soporta muy bien el paso de los años y la actividad humana. Es el elemento principal de la arquitectura tradicional de muchos lugares y continúa siendo muy utilizada. Sus propiedades más importantes son: elevada masa térmica, resistencia, durabilidad y belleza; no es un material renovable, pero es abundante. El proceso de extracción de piedra de las canteras es perjudicial para el medio ambiente, debido al impacto paisajístico y ecológico; por lo que se recomienda la utilización de piedra recuperada de otras construcciones para evitar ese impacto; también se pueden producir problemas de salud durante la extracción y corte en las canteras a causa de la inhalación de polvo, pero en general presenta un bajo riesgo de contaminación. Sin embargo, el impacto medioambiental más importante que produce la piedra es probablemente el transporte. *La solución natural y tradicional para este problema es utilizar piedra obtenida en las inmediaciones. Esto también permite que el arquitecto se mantenga informado sobre el impacto del proceso de extracción.*¹⁸

5.2.2 Madera

La madera es un material ligero, resistente duradero, fácil de trabajar y muy atractivo. Es un recurso renovable siempre que se utilicen las técnicas de silvicultura adecuadas. *En la actualidad el comercio internacional de madera constituye la principal amenaza para los bosques del mundo. El tipo y la calidad de los bosques varían enormemente, y las mediciones de superficie forestal son engañosas, porque equiparan los ricos bosques naturales con plantaciones monocultivo. Normalmente los bosques más antiguos son los más ricos en flora y fauna, y albergan especies raras y autóctonas. También contienen la mayor proporción de árboles maduros, y por tanto, son los más atractivos para las empresas madereras.*¹⁹ Aunque la madera proceda de bosques sostenibles sigue ejerciendo un considerable impacto medioambiental debido a la energía que se utiliza durante su extracción, transporte y procesado.

5.2.3 Tierra

La tierra fue uno de los primeros materiales de construcción y su uso continúa siendo generalizado. Puede ser extraída de casi cualquier lugar y tiene un impacto ambiental casi nulo; su extracción es fácil, y el transporte y procesamiento son mínimos. La tierra se utiliza en la construcción de diversas formas;

- hidratándola y añadiendo otros ingredientes es utilizada para levantar muros a mano sin ningún tipo de moldes o formas;
- moldeada y comprimida para formar adobes secados al sol

¹⁸ Energy Research Group. *Un Vitrubio Ecológico*, pág. 131

¹⁹ *Ibíd.*, pág. 128

- introducida en moldes in situ y comprimida manual o mecánicamente para otorgarle mayor resistencia, esta técnica es conocida como tapial, con la cual se pueden conseguir propiedades de dureza, resistencia y durabilidad, similares a las del hormigón.

La tierra no es un aislante muy eficaz; sin embargo es un excelente acumulador térmico. Está compuesta por piedra de diferente granulometría, arcilla y agua.

Para la construcción con tierra debe de removerse la capa superficial de material orgánico y en los casos en que la tierra contenga demasiada arcilla puede añadirse paja o arena y asfalto, cal o cemento para aumentar su resistencia estructural.

5.2.4 Paja y Fibras Vegetales

La paja utilizada en la construcción proviene de los tallos que quedan una vez cosechado el grano de las plantas de cereales como el trigo, la avena, la cebada, el centeno y el arroz. La aceptación de este material ha ido aumentando rápidamente debido a su amplia disponibilidad, su bajo impacto medioambiental y sus excelentes propiedades de aislamiento térmico.

Se emplea en distintas proporciones como aglutinante en adobe y tapial de adobe, en construcción de muros con un alto grado de aislamiento se utilizan las balas de paja, como relleno de una estructura, como materia prima para la fabricación de paneles y como material para techar.

Los problemas relacionados con la humedad y los insectos pueden solucionarse satisfactoriamente y no constituye un riesgo en caso de incendio porque la paja densamente comprimida y empacada no arde.

El impacto medioambiental de la paja y otras fibras vegetales acostumbra a ser muy bajo. En su mayoría, se consideran residuos de la agricultura, aunque en algunos casos se puede cultivar especialmente para la construcción.

5.3 La Salud y los Materiales

El bienestar del ser humano ha quedado rezagado por detrás del bienestar del planeta en todos los esfuerzos realizados por los ecologistas referentes al calentamiento global, la contaminación y el agotamiento de los recursos.

Los edificios debían ser energéticamente eficientes, aun al precio de tener que recurrir a aislantes potencialmente tóxicos, escasa ventilación y ventanas de reducido tamaño. La

construcción ecológica no se planteaba las dimensiones fisiológicas o psicológicas de la salud.²⁰

Existe en la actualidad una nueva filosofía que trata de equilibrar la eficiencia energética y la salud humana en el compromiso de la arquitectura con la sostenibilidad. El objetivo de esta filosofía es alcanzar la eficiencia energética con la aplicación de sistemas integrales, naturales y saludables; garantizando un ambiente confortable, libre de contaminación y estimulante a las necesidades humanas.

Figura 10. Los Edificios, la Salud y los Materiales de Construcción

Los Edificios, la Salud y los Materiales de Construcción		
	Requisitos para un espacio saludable	Sistema Natural
Confort	El confort es una de las características básicas de los ambientes saludables; toma en cuenta aspectos como temperatura, humedad, ventilación e iluminación. La ausencia de condiciones de confort favorece el desarrollo de moho y bacterias. Los niveles altos de humedad, falta de ventilación y la presencia de bacterias generan colonias de moho. A éstas suelen suceder los ácaros del polvo, que se alimentan del moho y producen diminutos excrementos que son inhalados por los ocupantes del edificio, lo que causa problemas respiratorios y otras dolencias debidas a la contaminación bacteriológica.	Iluminación y Ventilación Natural; utilización de Materiales Naturales
Libre de Contaminación	En los edificios la contaminación se presenta de varias formas; toxicidad por la baja calidad del aire, contaminación acústica y contaminación espacial (efecto psicológico producido por la masificación). La contaminación del aire se produce en el interior de los edificios debido a: la entrada de aire exterior contaminado; combustión controlada en las instalaciones del edificio (calderas, cocinas); combustión no prevista (humo de cigarrillos); emanaciones producidas por productos químicos que se utilizan en la construcción; el radón que penetra en el edificio a través del suelo.	Dado que muchos materiales de construcción se conocen desde hace tan sólo algunos años y muchos otros irrumpen en el mercado constantemente, es aconsejable ser prudente o escéptico con respecto a su uso. El recurso a lo natural constituye la principal garantía. Los materiales tomados directamente de la naturaleza (como la madera) o de fuentes orgánicas o inertes (como los ladrillos o baldosas cerámicas) son consustancialmente más sanos que los materiales sintéticos (como los plásticos).
Estimulante y Sensible a las Necesidades Humanas	La relación entre cuerpo y mente es tan importante como la relación entre cuerpo y edificio. El efecto de la luz solar sobre las paredes, las estancias bien ventiladas y bañadas de luz diurna, la presencia de plantas en el interior y el contacto con los árboles y arbustos del exterior, constituyen otras fuentes naturales de estímulo para los sentidos. Un ambiente saludable depende tanto de las magnitudes cuantitativas como de las condiciones cualitativas. El modelo que debería seguir toda arquitectura que quiera evitar tensiones no es otro que la sutil interacción de espacio y luz, consustancial a las condiciones naturales.	Un ambiente adecuado no sólo debe ser natural (es decir, con iluminación y ventilación naturales), sino también sencillo. La luz (en especial la solar), el espacio y las plantas, crean un ambiente estimulante y equilibrado.

Fuente: Guía básica de la Sostenibilidad

²⁰ Brian Edwards. Guía básica de la Sostenibilidad, pág. 141-142

6 CONCLUSIONES

El reaprovechamiento de los residuos, el desarrollo de alternativas que tienden a la optimización de los recursos económicos y la preservación del equilibrio ambiental, representan algunos de los desafíos de las sociedades contemporáneas; pero los esfuerzos y recursos invertidos en labores de investigación y conservación, enfocados a enfrentar estos retos no lograrán sus objetivos si no se promueven de manera simultánea actividades de educación y concientización ciudadana.

Para considerar la sostenibilidad de una obra de arquitectura, es necesario tomar en cuenta todas las fases de su ciclo de vida. Iniciando desde la etapa de diseño y proyección, la cual es una etapa decisiva en el logro de una arquitectura sostenible y continuando con su ejecución, uso y explotación a lo largo de su vida útil y al final de ella, momento en el que el edificio deberá ser reincorporado nuevamente al medio ambiente.

Los materiales con menor impacto ambiental, deben incorporar criterios de sostenibilidad, como alta eficiencia energética, durabilidad, recuperabilidad, recursos renovables, empleo de tecnologías limpias y valoración de residuos. Aunque aún no exista una metodología aceptada universalmente, el Análisis de Ciclo de Vida es la herramienta más confiable para evaluar las cargas ambientales.

A partir de la evaluación del ciclo de vida ambiental, se puede lograr, la prolongación de la vida de los productos; la sustitución y reutilización de componentes; el reciclaje, utilización de residuos y optimización de materiales; y la disminución del consumo de recursos (minimización del volumen, energía, recursos materiales y producción de desechos).



7 BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ, Carlos. *Materiales y Construcción Sostenible, una nueva forma de hacer para el siglo XXI*. www.terraumarquitectos.com

ARENAS, Francisco. *Los Materiales de Construcción y el Medio Ambiente*. Medio Ambiente y Derecho. Revista electrónica de Derecho Ambiental: 1-8, 2004

BELLART, Meritxell y Mesa, Sara. *Impacto Ambiental y Ciclo de Vida de los Materiales de Construcción*. Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña. 2009. 97 p.

COCCATO, Cecilia y KLEES, Delia. *Ciclo de vida de los materiales de construcción*. Chaco, Universidad Nacional del Nordeste. 2005. 4 p.

EDWARDS, Brian. *Guía básica de la Sostenibilidad*. 2da. Edición. Barcelona, Editorial Gustavo Gili, SL. 2008. 223p.

ENERGY Research Group. *Un Vitruvio Ecológico, principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible*. Barcelona, Editorial Gustavo Gili, SL. 2007. 159 p.

ESPÍ, José Antonio y SEJÍAS, Eduardo. *El Análisis del ciclo de vida aplicado a los materiales de construcción: "El granito de la comunidad de Madrid"*. Madrid. Universidad Politécnica de Madrid. 2003. 17 p.