

CAPÍTULO 6. CRITERIOS DE SUSTENTABILIDAD EN EL USO DE MATERIALES

La selección de materiales y productos para un edificio sustentable de alto rendimiento es hasta el momento la tarea más difícil y desafiante a la que se enfrenta el equipo de proyecto. Dentro de los materiales y productos preferentes para su uso en este tipo de edificios se encuentran aquellos que utilicen los recursos de manera ambientalmente responsable (*GBM & GBP* o *green building materials & products*).

Actualmente existe la controversia entre qué es y qué no es un *GBM*, cada empresa, instituto o fabricante tiene su propio concepto, dado que aún no se encuentra regulada la definición exacta. En el caso de la madera, se considera un material responsable con el ambiente (*GBM*) si proviene de un bosque administrado sustentablemente. Por otra parte, en cuanto a los productos, algunos institutos de investigación, como el *Greenguard Environmental Institute*, se basan en los niveles de emisiones químicas que afectan la calidad del aire dentro del edificio para calificarlos como productos responsables con el ambiente (*GBP*).

A pesar de que existen diferencias entre lo que se podría considerar *GBM* o *GBP*, algunos países han desarrollado sus propias etiquetas para certificar los materiales y productos para la construcción, como amigables y responsables con el ambiente para la construcción, llamadas *eco-labels* o *ecolabelling*. Algunos ejemplos son *The Blue Angel* (Alemania, 1978), *The Nordic Swan* (Países Nórdicos, 1989) y *The European Union* (Unión Europea, 1992). Además, también existe una red global de eco-labels (*GEN* o *Global Ecolabelling Network*, 1994) que incluye 25 países entre los que se encuentran Brasil, Canadá, Rusia, Corea, Japón, Australia y Filipinas cuyo objetivo principal es el intercambio de tecnologías en materia de *ecolabelling* entre las naciones.

Cada una de estas certificaciones evaluará los impactos de diferente manera y enfoque, en el caso de *The Blue Angel*, un producto es certificado por su característica más importante que lo haga ambientalmente amigable, en el caso de *The European Union* lo analizan desde un

análisis del ciclo del vida (**LCA** o *Life Cycle Assessment*) del producto considerando aspectos ambientales y sociales.

Sin embargo, aunque el *ecolabelling* es una práctica importante y de apoyo en la selección de productos sustentables, el número de productos certificados llega a ser limitado, lo que hace de esta selección un gran reto. De ahí que el equipo de proyecto tenga que basar su elección en sus propios criterios acerca de qué materiales cumplen con el concepto de amigable con el ambiente. Afortunadamente, existen herramientas que los apoyan en esta tarea, los *LCA*. Los *LCA* proveen un análisis de la información en términos de recursos, emisiones y otros impactos, resultado del uso de materiales a lo largo de su ciclo de vida, desde su extracción hasta su disposición final, incorporando un alto nivel de rigor científico durante el proceso de evaluación.

En este capítulo se abordarán temas acerca de lo que son los materiales y productos de construcción sustentables (referidos en este trabajo como **GBM** o *green building materials* y **GMP** o *green building products*), los criterios a considerar en su elección, la aplicación del *LCA* en este proceso, y las características de algunos materiales de construcción donde nuevas tecnologías y enfoques están contribuyendo a la sustentabilidad en la construcción.

6.1 Definición de Materiales/Productos de Construcción Sustentable

El término *GBP* generalmente se refiere a los componentes de un edificio que tienen una amplia gama de atributos que los hacen alternativas preferentes. Por ejemplo, un cristal de baja emisividad es un tipo de cristal que permite el paso de la luz visible pero que refleja gran parte de la radiación térmica del espectro de luz, lo que lo hace un producto recomendable para su instalación en ventanas, en comparación con un cristal ordinario, debido a su rendimiento energético.

En cuanto a un *GBM* se refiere principalmente a materiales básicos que pueden ser componentes de algunos productos o que se pueden usar aisladamente en la construcción del edificio. Estos materiales tienen bajos impactos ambientales respecto a otras alternativas. Un ejemplo sería la madera que esté certificada por un organismo que asegure que dicho material proviene de bosques donde la madera se produce de manera renovable, y que la biodiversidad de los ecosistemas locales es protegida.

Si bien cada concepto hace sentido individualmente, el conjuntarlos durante el proceso de elección de materiales y productos resulta una tarea compleja dado que algunos *GBP's* pueden no estar hechos con *GBM's* o viceversa. Esto se explicará con el ejemplo del cristal

de baja emisividad. A pesar de que, como producto, un cristal de baja emisividad se considera sustentable y es muy recomendable debido a su performance, sus materiales no son considerados como sustentables dado que su reciclaje es muy difícil debido a las películas que se encuentran adheridas al cristal (lo que le da su característica de baja emisividad). De ahí que el proceso de elección se vuelva todo un reto. Sin embargo, existen ciertos criterios que podemos usar para apoyarnos en esta tarea.

6.2 Criterios para la Selección de Materiales/Productos de Construcción Sustentable

Durante el proceso de selección de materiales de construcción para un proyecto sustentable existen tres prioridades:

- Al igual que con el agua y la energía, se debe poner primordial atención en la reducción de la cantidad de materiales necesarios para el proyecto.
- La segunda prioridad es reutilizar los materiales de edificios cuya vida útil ya haya terminado, práctica que recibe el nombre de deconstrucción. La deconstrucción se refiere al desmantelamiento total o parcial de edificios con el fin de recuperar algunos de sus componentes para reutilizarlos en otras construcciones.
- La tercera prioridad es el uso de materiales y productos que tengan contenido reciclado y que por sí mismos sean reciclables, o que estén hechos de recursos renovables.

La composición de los materiales utilizados en un edificio es un factor muy importante en su impacto ambiental durante su ciclo de vida. Ya sea un proyecto de nueva construcción o remodelación, se debe buscar el uso de productos y procesos amigables con el ambiente que no contaminen o contribuyan innecesariamente con el aumento de residuos, que no tengan efectos adversos en la salud, y que no agoten los limitados recursos naturales.

A medida que la creciente economía mundial aumenta su demanda de materias primas, ya no tiene sentido el desperdiciar materiales, considerados como residuos, en vez de reutilizarlos. Esto hace referencia a una práctica que se ha adoptado en los proyectos de edificación sustentable, conocida como “*Cradle to Cradle*”, que constituye una medida para reducir el consumo de materias primas, donde los residuos de una actividad pueden ser los insumos para otra. Lo que viene a modificar las prácticas generales, en las que se extraen los recursos de la Tierra, se les da la forma conveniente, se usa el producto creado y se tira¹.

¹ Esta práctica es conocida como *Cradle to the Grave*

Algunas de las recomendaciones para la elección de materiales y productos son:

- Renovar las instalaciones, productos y equipos existentes, siempre y cuando sea económicamente factible y eficiente en materia de uso de recursos.
- Evaluar la opción preferible mediante un *LCA* del material o producto.
- Maximizar el contenido reciclado en los materiales nuevos, especialmente desde una perspectiva de post-consumo.
- Especificar los materiales provenientes de campos o áreas especialmente administradas para la explotación de cierto recurso de manera sustentable.
- Promover el uso de productos reciclables que puedan ser deconstruidos fácilmente al final de su vida útil.
- Limitar los desperdicios del material de construcción, promover la separación y reciclaje de residuos a lo largo del proyecto.
- Eliminar el uso de materiales tóxicos o que contaminen durante su manufactura, uso o reutilización.
- Preferir productos locales y aquellos con bajo nivel de energía incorporada durante su extracción, manufactura, transporte, instalación y uso.

La energía incorporada (MJ/kg) se define como la energía disponible que se utilizó en el trabajo de hacer un producto. La energía incorporada es una metodología de contabilidad que tiene por objeto determinar la suma total de la energía para el ciclo de vida de un producto. Este ciclo de vida incluye la extracción de materias primas, transporte, fabricación, montaje, instalación, desmontaje, la deconstrucción y/o descomposición. La energía incorporada es un concepto nuevo para el cual los científicos aun no han acordado valores absolutos universales debido a la gran cantidad de variables involucradas, pero la mayoría está de acuerdo que se puede comparar un producto con otro para ver cual tiene menor o mayor energía incorporada.

Las unidades típicas usadas para medir la energía incorporada son MJ/kg (Mega Joules de energía necesaria para producir un kilogramo de un producto), tCO₂ (toneladas de dióxido de carbono creadas por la energía necesaria para un kilogramo de un producto).

6.3 Evaluación del Ciclo de Vida

Como se mencionó anteriormente, la herramienta más importante actualmente usada para determinar los impactos de los materiales de construcción es la evaluación del ciclo de vida (LCA), Figura 6.1. El LCA es una metodología para evaluar el rendimiento ambiental de un servicio, proceso, o producto, incluyendo un edificio, a lo largo de todo su ciclo de vida. Comprende varios pasos como análisis de inventario, evaluación de impactos e interpretación de los impactos.



Figura 6.1 Diagrama del ciclo de vida de un material. Fuente: Basado en el sitio web *Athena Institute* y modificado por la autora

Fuente: *Prairie Fire Newspaper*

El rendimiento ambiental puede ser medido en términos de una amplia gama de efectos potenciales, como son:

- Agotamiento de los combustibles fósiles
- Uso de otros recursos no renovables
- Consumo de agua
- Energía incorporada
- Potencial para el calentamiento global
- Eutroficación de los cuerpos de agua
- Acidificación y deposición ácida² (seca y húmeda)

² La lluvia ácida es un tipo de deposición ácida, que puede aparecer en muchas formas. La deposición húmeda se refiere a la lluvia, la nieve, el aguanieve o la niebla, cuya acidez es mucho mayor que la normal. La deposición seca es otra forma de deposición ácida y se produce cuando los gases y las partículas de polvo se vuelven más ácidos.

- Emisiones tóxicas hacia el aire, agua, y suelo

La comparación de estos efectos en un edificio implica un análisis muy cuidadoso con respecto a las unidades de cada uno. Por ejemplo, la energía total para el ciclo de vida de un edificio está representada por la energía incorporada [MJ/kg] invertida en la extracción, manufactura, transporte, e instalación de sus productos o materiales, más la energía operativa [KWh] necesaria para el funcionamiento del edificio durante su vida. “Para un edificio promedio, la energía operativa es alrededor de 5 a 10 veces mayor que su energía incorporada” (Kibert, 2009) y como consecuencia, la etapa operativa tendrá mucho más impactos energéticos que aquellos presentes durante la etapa de la construcción. Sin embargo, para otros efectos, los impactos causados durante la construcción pueden ser mayores. Como lo es el caso de las emisiones tóxicas donde el mayor impacto se da durante los procesos de extracción y manufactura. De ahí que al momento de diseñar, se debe de analizar todo el panorama completo, es decir todo el ciclo de vida del edificio, no solo las etapas que llevan a la construcción.

A pesar de la complejidad de este tipo de evaluación, existen diferentes tipos de software como ATHENA (Instituto ATHENA, herramienta para LCA, Canadá) y BEES (Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología NIST, abarca LCA y LCC³, Estados Unidos) que permiten al usuario comparar diferentes productos y materiales de construcción en términos de parámetros como son la energía incorporada, las emisiones tóxicas al ambiente, su contribución a la acidificación y al calentamiento global, entre otras, a lo largo de su ciclo de vida.

³ LCC o *Life Cycle Costing* es un análisis de costos del ciclo de vida de un producto o material.

6.4 Materiales de Construcción

En este subcapítulo se conocerán los impactos ambientales más importantes a lo largo del ciclo de vida de los materiales más representativos en la construcción de edificios (concreto, madera, metales, plásticos y biomateriales), así como las estrategias recomendables para su mitigación.

El enfoque que se presentará en este apartado se basa en el “efecto mariposa”, efecto en el cual varias acciones pequeñas en la dirección correcta resultarán en un gran impacto. Tal es el caso del concreto, si al principio un concreto se diseña para tener el 100% de cemento portland (como material cementante) y para el siguiente proyecto se mejora considerando un 30% de ceniza volante (*fly ash*) como sustituto del cemento, ya se empieza a reducir los impactos de éste material. Si posteriormente, se aumenta a 40% el contenido de fly ash, se introduce el uso de concreto reciclado como agregado, y se incluyen puzolanas como material cementante, se tendrá un notable progreso con respecto al primer escenario. De ahí que éste enfoque busque un cambio en la forma de concebir a los materiales y productos de construcción hacia una visión más sustentable dentro de la industria de la construcción.

6.4.1 Concreto

El concreto es el material de construcción más usado a nivel mundial, y el segundo producto de mayor consumo en el planeta después del agua. Su popularidad se debe a las diversas ventajas que ofrece, dado que su diseño puede cumplir con requisitos específicos en materia de resistencia a la compresión, durabilidad, temperatura, resistencia a sulfatos, manejabilidad, tiempo de fraguado, entre otros. Éste diseño dependerá de las proporciones de los componentes de la mezcla (agua, cementantes, agregados, puzolanas y aditivos).

A pesar de las grandes ventajas del concreto, su producción trae consigo costos ambientales, de los cuales los más dañinos son el alto consumo de energía⁴ y las emisiones de dióxido de carbono⁵ durante la producción del cemento portland⁶. De ahí que el gran reto para disminuir el impacto ambiental de éste material recaiga en la reducción de la cantidad de cemento en la mezcla, siendo parcialmente remplazado por otros materiales cementantes como:

⁴ El consumo es de 5 millones de BTUs por tonelada de clinker, que representa el 92% de la demanda total de energía para la fabricación del concreto.

⁵ Estas emisiones representan el 5% de las emisiones de CO₂ a nivel mundial.

⁶ El cemento portland constituye el 10% del contenido de la mezcla de concreto.

- *Fly Ash*. Material cementante y puzolánico, producto de la combustión del carbón en las plantas térmicas, el cual puede llegar a sustituir al cemento portland hasta en un 50% de su masa sin comprometer las características del concreto.
- Escoria granulada de alto horno (EGAH). Puzolana artificial resultado de la fundición del acero. Sustituye la cantidad de cemento portland de un 15% - 80%.
- Humo de sílice (*silica fume*). Es un subproducto que se origina en la reducción de cuarzo de elevada pureza con carbón de hornos eléctricos de arco, para la producción de silicio y aleaciones de ferrosilicio. Su porcentaje de sustitución del cemento es hasta del 10%.
- Metacaolín. Es un material cementante suplementario (aluminosilicato activado térmicamente) producto del tratamiento térmico del caolín.

Todos estos sustitutos del material cementante (**SMC**) mejoran el desempeño del concreto al darle una mayor resistencia a los sulfatos, mayor impermeabilidad, menor calor de hidratación, mayor resistencia a la compresión a edades tempranas, entre otras. En las tablas 6.1 y 6.2 se resumen los efectos de los SMC en el concreto fresco y endurecido respectivamente.

Tabla 6.1 Efectos de los SMC en las propiedades de concreto fresco						
	Fly Ash				Puzolanas Naturales	
	Tipo F	Tipo C	EGAH	Humo de sílice	Arcillas Calcinadas	Metacaolín
Demanda de agua	Significativamente reducida	Significativamente reducida	Reducida	Significativamente incrementada	Sin cambio significativo	Incrementada
Manejabilidad	Incrementada	Incrementada	Incrementada	Significativamente reducida	Incrementada	Reducida
Segregación y sangrado	Reducidos	Reducidos	El efecto varía	Significativamente reducidos	Sin cambio significativo	Sin cambio significativo
Contenido de aire	Significativamente reducido	Reducido	Reducido	Significativamente reducido	Sin cambio significativo	Sin cambio significativo
Calor de hidratación	Reducido	El efecto varía	Reducido	Sin cambio significativo	Reducido	Reducido
Tiempo de fraguado	Incrementado	El efecto varía	Incrementado	Sin cambio significativo	Incrementado	Incrementado
Bombeabilidad	Incrementada	Incrementada	Incrementada	Incrementada	Incrementada	Incrementada
Contracción plástica y agrietamiento	Sin cambio significativo	Sin cambio significativo	Sin cambio significativo	Incrementada	Sin cambio significativo	Sin cambio significativo

Fuente: Meg Calkins, *Materials for Sustainable Sites 2009*

Tabla 6.2 Efectos de los SMC en las propiedades del concreto endurecido

	Fly Ash				Puzolanas Naturales	
	Tipo F	Tipo C	EGAH	Humo de sílice	Arcillas Calcinadas	Metacaolín
Resistencia temprana	Reducida	Sin cambio significativo	Reducida	Significativamente incrementada	Reducida	Significativamente incrementada
Resistencia a largo plazo	Incrementada	Incrementada	Incrementada	Significativamente incrementada	Incrementada	Significativamente incrementada
Permeabilidad	Reducida	Reducida	Reducida	Significativamente reducida	Reducida	Significativamente reducida
Ingreso de cloruros	Reducido	Reducido	Reducido	Significativamente reducido	Reducido	Reducido
Reacción alcalí-sílice	Significativamente reducida	El efecto varía	Significativamente reducida	Reducida	Reducida	Reducida
Resistencia a los sulfatos	Significativamente incrementada	El efecto varía	Significativamente incrementada	Incrementada	Incrementada	Incrementada
Resistencia a la abrasión	Sin cambio significativo	Sin cambio significativo	Sin cambio significativo	Sin cambio significativo	Sin cambio significativo	Sin cambio significativo
Contracción por secado	Sin cambio significativo	Sin cambio significativo	Sin cambio significativo	Sin cambio significativo	Sin cambio significativo	Sin cambio significativo

Fuente: *Meg Calkins, Materials for Sustainable Sites 2009*

Por otra parte, los agregados también juegan un papel importante en la conversión del concreto en un material sustentable. Al sustituir, total o parcialmente, los agregados naturales por materiales reciclados se logra disminuir el impacto ambiental en el suelo generado por la explotación de agregados pétreos en zonas vírgenes, y reducir los costos de adquisición de los mismos.

Existen diferentes materiales reciclados que pueden sustituir a los agregados naturales. Su selección deberá tomar en cuenta las características de desempeño de cada material en el concreto. A continuación se mencionan las correspondientes a los materiales reciclados más representativos.

- Concreto. Puede sustituir en un 100% al agregado grueso, y en un 30% al agregado fino. Tiene muy buen desempeño en cuanto a resistencia, durabilidad y manejabilidad. Absorben más agua que los agregados vírgenes. La contracción por secado puede aumentar con el uso de concreto reciclado como agregado fino.

- Ladrillos. Sustituyen hasta un 20% del agregado grueso. El color de los ladrillos puede añadir cualidades estéticas al concreto. Producen concretos más ligeros. No se debe de usar como agregado fino ya que esto comprometería la durabilidad y resistencia del concreto. Demanda más agua que los agregados naturales por lo que puede disminuir su manejabilidad.
- Plásticos (algunas veces combinados con otros materiales como el *fly ash*). Sustituye el 10% del agregado grueso y en 15% al agregado fino. Disminuye el peso de las estructuras o bloques. Aumenta la deformación del concreto sin falla, lo cual puede ser benéfico en situaciones de gran expansión o congelamiento y deshielo de las estructuras. La resistencia a la compresión es menor que si se usaran agregados vírgenes.
- Vidrio. Se puede usar tanto como agregado fino como grueso. Le proporciona características estéticas al concreto. Al usarlo como agregado grueso aumenta la probabilidad de que se presente una reacción alcalí-silica que se usará como agregado fino.

Finalmente, la incursión de la nanotecnología, manipulación de la materia a una billonésima parte de un metro, en las tecnologías del concreto ha traído resultados muy prometedores que ayudarán a mejorar el desempeño ambiental del concreto. Entre estas técnicas innovadoras se tiene: la descomposición del cemento portland en nanopartículas que cuadruplicará la resistencia a la compresión reduciendo la cantidad de cemento a utilizar, la adición de nanopartículas de sílica, dióxido de titanio y óxido de hierro al cemento que mejorará las propiedades mecánicas (flexión y compresión), la integración de nanosensores que recaben información de resistencia, corrosión, pH, actividad sísmica, entre otros.

6.4.2 Metales

Los metales son materiales ampliamente usados en la construcción. Sus beneficios van desde estructurales (resistencia, maleabilidad, ductilidad, durabilidad, etc.) hasta estéticos (aleaciones y acabados). Los metales existen en diferentes presentaciones tales como láminas, varillas, elementos prefabricados, perfiles estructurales, formas personalizadas, entre otros. Sin embargo, a pesar de las ventajas que éstos materiales presentan, también son de los materiales de construcción con mayores impactos negativos hacia el ambiente. Estos impactos van a depender del tipo de metal, producto y acabado del que se trate. El proceso de fabricación de los materiales requiere grandes cantidades de recursos, muchas veces de tres a ocho veces la cantidad de metal que se obtiene lo cual resulta en una gran cantidad de residuos.

Estos residuos, algunos considerados como tóxicos (arsénico, plomo, mercurio, plata, cadmio, etc.), son emitidos al agua, aire y suelo, afectando a los ecosistemas y a la salud de los seres humanos.

A pesar de los grandes impactos que la producción de metales tiene en el ambiente, es incuestionable su papel fundamental en la construcción de grandes estructuras. De ahí que las prácticas más sustentables apunten hacia una elección consciente del tipo de metal a utilizar así como la selección de las estrategias correctas para su reciclaje, reutilización y recuperación una vez terminada la vida útil del proyecto.

El potencial de reciclaje interminable de los metales es su característica más sustentable. Con el uso de residuos de post y pre consumo, se puede reducir de manera importante la cantidad de energía (energía incorporada), de residuos y de contaminación durante la fabricación de nuevos metales. Otra característica que hace sustentables a los metales es su durabilidad, ya que el hecho de que su vida útil sea tan prolongada compensará de alguna forma los efectos negativos, de su fabricación, amortizándolos a lo largo de dicho periodo.

La elección de los metales a utilizar va a depender de las exigencias particulares de rendimiento de cada proyecto, es por eso que no se puede dar un concepto de cuál es el mejor o el peor, dado que el mejor para uno puede no serlo para el otro. Sin embargo, existen parámetros, como la energía incorporada, y otras características que ayudarán al equipo de proyecto a elegir el tipo de metal a ocupar. La tabla 6.3 resume las características más representativas de los metales más usados en la industria de la construcción.

1

Tabla 6.3 Características de los Metales									
-	USO	PRODUCCION (consideraciones)	ENERGÍA INCORPORADA (MJ/kg)	EMISIONES DE CO2 (kg)		RESIDUOS	IMPACTOS TOXICOS	CONSUMO DE AGUA	INTEMPERISMO
ACERO AL CARBON	Industria de la construcción, en aplicaciones estructurales. Es vulnerable a la corrosión por lo que necesita recubrimiento	Se presentan en los procesos de extracción, molienda, trituración, consolidación, lavado, escurrimiento, flotación, separación, y tratamiento térmico, de sus elementos constituyentes como el carbón, hierro, cromo, níquel, zinc, manganeso, cadmio, entre otros.	22 000	2 000	Las emisiones de dióxido de carbono producidas en la industria del acero, coloca a esta actividad en segundo lugar, después de la refinación del petróleo, sobrepasando a la industria cementera.	Los residuos sólidos producto del proceso de fabricación del acero son escorias, lodos y arenas. Las escorias, p.e., pueden ser usadas en la fabricación del concreto como sustituto del cemento.	Los contaminantes tóxicos liberados al ambiente durante la producción del acero están constituidos por VOC's, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y amoníaco.	Se requiere aproximadamente 280 mil litros de agua para producir una tonelada de acero.	Es el metal con el mayor índice de corrosividad entre todos los metales, 0.05-0.1mm por año. Para su uso en exteriores es necesario un recubrimiento que lo proteja.
ACERO INOXIDABLE	Es resistente a la corrosión sin necesidad de recubrimientos.		Requiere alrededor de 60% más energía (35mil MJ/kg) que para el acero al carbón debido al proceso adicional y las altas temperaturas requeridas para fundir y formar el producto metálico.	4 400					Debido a su resistencia a la corrosión, durabilidad y cualidades estéticas, es usado para estructuras externas.
ALUMINIO	Es un material ligero, resistente a la corrosión, buena resistencia. Se usa en piezas de mueblería hasta estructurales	El material del que se obtiene el aluminio es la bauxita. Debido a que su ubicación geográfica se encuentra en los bosques tropicales, su extracción implica el daño a estos ecosistemas.	180 000	1 700	Las emisiones de PFC a la atmosfera producidas por la fundición del aluminio tienen mayor impacto que el CO2 (1kg de PFC captura el equivalente de calor a 6500kg de CO2).	Para la producción de una tonelada de aluminio, se requieren 2ton de alúmina, generando entre 0.3-2.5ton de residuos de bauxita.	Dióxido de carbono y perfluorocarbonos (PFC), durante la fundición del aluminio, además de hidrocarburos aromáticos y dióxido de azufre.	Requiere menos agua que el acero. Los contaminantes del agua residual y de los lodos se componen de aluminio, níquel, cianuro, antimonio, y fluoruro.	La adición de una capa final de aluminio más puro al elemento metálico creará una capa anti-corrosión lo cual implica una mayor vida útil.
COBRE	Usado en aplicaciones del paisaje, en forma de lámina, paneles, etc.	Su impacto recae en que aproximadamente dos toneladas son removidas por una tonelada de beta cobre, de la cual, solo el 0.7% de la beta es cobre. Esto resulta en más de 400 toneladas de desperdicio por cada tonelada de cobre producida.	70 000	4 200	—	Los residuos sólidos producto del proceso de fabricación del cobre están representados por escorias las cuales tienen potencial para su reutilización.	Dióxido de azufre durante la fundición, y elementos volatilizados como As, Bi, Sb, Pb en concentraciones de 0.1-0.25 kg/m3 (en condiciones estándar)	El agua que se requiere es para los procesos de enfriamiento de moldes y ánodos de cobre.	El cobre es un materia que se oxida con facilidad, sin embargo, una recubrimiento de patina al momento de su fabricación lo protegerá contra los efectos de la corrosión.

Fuente: Meg Calkins, *Materials for Sustainable Sites 2009*

Además de considerar las características de los metales de la tabla anterior, también existen prácticas recomendadas para el uso sustentable de metales en un proyecto, entre las cuales pueden incluirse las siguientes:

- Diseñar la estructura metálicas a fin de reducir el potencial corrosivo. Se aplica a la orientación de las fibras del elemento, las cuales deberán de ser preferentemente verticales para facilitar el escurrimiento del agua, así como a la porosidad, la cual se buscará disminuir desde su fabricación.
- Evitar metales y recubrimientos que puedan contaminar el ambiente mientras son usados. Este posible impacto se debe a que las partículas oxidadas de ciertos metales pueden ser arrastradas por el agua o dispersadas por el viento causando la contaminación del agua, suelo y aire en los alrededores de las estructuras metálicas.
- Donde sea posible, utilizar acabados mecánicos (pulido o lijado) en lugar de químicos. Ésta práctica reduce el uso de recursos, de contaminantes peligrosos y de generación de residuos relacionados con la aplicación de acabados químicos o electrolíticos.
- Evitar acabados con impactos tóxicos al ambiente y a la salud. Estos acabados están representados por materiales galvanizados, cromados y cadmiados. Por lo que de ser necesarios se recomienda utilizar tecnologías suplementarias como la técnica de chapado en zinc, cobrizado, deposición⁷ de vapor iónica, deposición de vapor física, cromado trivalente, entre otros.
- Reducir los tamaños y espesores de los elementos estructurales. Esto se puede lograr mediante el uso de aleaciones de titanio y acero inoxidable de alta resistencia, los cuales ofrecen un excelente rendimiento en cuanto a resistencia pudiendo de ésta manera reducir las dimensiones de las estructuras.
- Considerar los requerimientos de mantenimiento y limpieza de los metales. Ésta práctica resalta la importancia de estas dos actividades para evitar la corrosión de los elementos así como prolongar su periodo de vida útil. El acero inoxidable es el metal con menor demanda de limpieza, dado que puede limpiarse con productos ligeramente o no tóxicos.

⁷ La deposición de vapor es un proceso en el que el sustrato (superficie de la pieza) se somete a reacciones químicas mediante gases que contienen compuestos químicos del material que se va a depositar. El espesor del recubrimiento suele ser de unos pocos nanómetros. Los materiales depositados pueden ser metales, aleaciones, carburos, nitruros, bromuros, cerámicas u óxidos. El sustrato puede ser metal, plástico, vidrio o papel. (Schmid, 2002)

Dentro del campo de la nanotecnología, desarrollos recientes ofrecen una mejora en el rendimiento técnico y ambiental de los metales, como lo son: acero nanocompuesto, una mezcla de acero y nanotubos de carbón que dan mayor resistencia y menor peso a la estructura; reducción de la zona de calor producida por la soldadura del acero mediante la incorporación de nanopartículas de calcio y magnesio a la soldadura; integración de nanolistas de acero que semejan la estructura de la madera multilaminada, mejorando la resistencia a la corrosión y durabilidad de las varillas de refuerzo.

6.4.3 Madera

La madera ha sido utilizada durante siglos como un material de construcción en regiones boscosas debido a que es fácil de trabajar, estructuralmente resistente, funciona como aislante térmico además de proporcionar un ambiente más acogedor al lugar en el que se coloca. La madera es un recurso natural renovable el cual requiere de energía solar para su crecimiento, captura el dióxido de carbono (aún después de ser convertido en tablonés, placas, etc.), y purifica el aire. Sin embargo, a pesar de ser un material renovable, las prácticas actuales han convertido la tala de árboles en una actividad no sustentable que amenaza con destruir ecosistemas y biodiversidad.

De ahí que sea necesario cambiar la dirección de la producción de madera hacia un enfoque sustentable, el cual se logrará, entre otras prácticas, con: (a) una administración sustentable de los bosques que certifique que la madera ha sido producida mediante un control adecuado que no daña al medio ambiente; (b) uso de madera recuperada (reutilización y reciclaje); (c) uso de acabados (barnices, lacas, pinturas) y tratamientos de preservación con menos componentes tóxicos; (d) estrategias de: uso eficiente de recursos, reducción de residuos y construcción de estructuras durables.

A continuación se detallan las estrategias anteriormente planteadas.

- **Certificación Forestal.** Es un proceso mediante el cual se evalúan las operaciones forestales mediante un grupo de estándares determinado. La certificación del Consejo de Administración Forestal (*FSC o Forest Stewardship Council*) está basada en principios reconocidos internacionalmente que toman en cuenta aspectos ambientales, económicos y sociales. Dicha certificación constituye una herramienta para la conservación de los recursos naturales a través de un sello que garantiza a los consumidores que el producto

que están adquiriendo es el resultado de prácticas responsables, bajo principios y criterios que buscan el balance ecológico, económico y social.

- Reutilización y reciclaje. Después de su etapa de uso, la mayoría de la madera es dispuesta como residuo de construcción o simplemente tirada. Y aunque es un producto que se degrada con facilidad, regresando al suelo como carbón, esta no debe ser la mejor estrategia del fin de su uso. Al usar madera recuperada en un proyecto, aumentará la vida útil de éste material representando un gran impacto positivo en el medio ambiente, además de ayudar a reducir los residuos y los costos por adquisición de material nuevo. En el caso de que la madera recuperada no pueda ser usada estructuralmente, puede ser reciclada para la formación de productos de madera tales como *mulch*, para control de la erosión de los suelos, o maderas artificiales (aglomerados).
- Acabados y tratamientos de preservación. Generalmente, entre más efectivo sea un preservativo para madera, mayor será la cantidad y toxicidad de los químicos que lo componen. De ahí que la elección tanto de preservativos como acabados deba ser cuidadosa, eligiéndolos de acuerdo al propósito y características de la madera. Existen preservativos y tratamientos de segunda y tercera generación que buscan disminuir estos efectos nocivos debido al exceso de químicos tóxicos. La primera generación usaba preservativos basados en arseniato de cobre cromado (*CCA o Chromated Copper Arsenate*), la segunda ha eliminado el arsénico dando lugar a tratamientos a base de cobre como el compuesto cuaternario de cobre amoniacal (*ACQ o Ammoniacal Copper Quaternary*) y el azole de cobre. Finalmente la tercera generación de preservativos de madera está incorporando el uso de nanopartículas para dispersar y fijar los preservativos en las fibras de la madera. Por otra parte, en cuanto a acabados se refiere, el componente más dañino son los compuestos orgánicos volátiles (*VOC's o volatic organic compounds*), presentes en la mayoría de los barnices y pinturas para madera. Estos *VOC's* son tan importantes debido a su capacidad destructiva del medio ambiente y sus impactos nocivos a la salud. De ahí que se busque la elección de acabados con bajo contenido de *VOC's* y otros compuestos químicos peligrosos.
- Uso eficiente de recursos. Para su uso estructural se requiere, generalmente, elementos de madera de grandes dimensiones, lo cual implica que provienen de árboles viejos. Es por eso que una práctica más sustentable consiste en la reducción de las dimensiones de los elementos, pudiendo de ésta forma obtener la madera de árboles más jóvenes y disminuir el tiempo de recuperación de los bosques. Otra alternativa es la reducción de residuos al fin de la vida útil del edificio mediante el diseño y el desmontaje de las estructuras de madera para posteriormente reutilizarlas en otro edificio o para otros productos. Por otra parte, la idea de construir estructuras durables implicará un diseño del edificio a fin de que las estructuras de madera sean utilizadas por un periodo mayor al ciclo de crecimiento de

un árbol del que se pueda obtener un elemento de un tamaño y calidad comparable, lo cual se podrá lograr mediante una buena elección del tratamiento de preservación y acabado de la madera considerando los aspectos vistos en el apartado anterior.

Finalmente, la nanotecnología también está trabajando, en materia de preservativos, acabados, adhesivos, entre otros, para lograr que el uso de la madera como material de construcción sea sustentable. Estas tecnologías incluyen: nanosensores que medirán niveles de humedad, emisiones químicas, presencia de plagas, cargas a las que está sometida la madera, temperatura, etc.; nanofibras de carbono integradas en la madera que aumentarán su ligereza y resistencia disminuyendo las dimensiones de los elementos estructurales, lo cual se traduce en una disminución en la tala de árboles; selladores antimicrobiales hechos de nanopolímeros que encapsulan las esporas de moho que pudieron haber crecido en la madera además de prevenir su crecimiento; nanopérlas con insecticidas y fungicidas orgánicos embebidos en ellas, las cuales por su tamaño se mueven dentro de las fibras de la madera logrando una mejor protección contra hongos e insectos.

6.4.3 Plásticos

Desde hace más de cinco décadas, los plásticos se han convertido en uno de los materiales más comunes para la construcción de edificios, ya sea en forma de productos, componentes o recubrimientos plásticos. Estos materiales ofrecen diversas ventajas como lo son durabilidad, resistencia al agua, flexibilidad, ligereza, accesibilidad económica y bajo mantenimiento, además de poder incorporar contenido reciclado y ser reciclables por sí mismos. Sin embargo, el uso de plásticos también tiene algunas desventajas como son el uso de recursos no renovables como insumos y las emisiones tóxicas (dioxinas, furanos⁸ y metales pesados) durante los procesos de producción y disposición final.

A pesar de estos inconvenientes, los plásticos representan una buena alternativa como material sustentable para su uso en la construcción de infraestructura. Cabe aclarar que dependiendo del tipo de plásticos va a ser el tipo de impacto ambiental y a la salud, por lo que el uso de ciertos plásticos puede ser la alternativa más apropiada, sustentablemente, que sus análogos. Si bien existen más de 100 tipos de plásticos, los comúnmente usados en productos para la construcción son 6 y se muestran en tabla 6.4.

⁸ Las dioxinas y furanos son compuestos organoclorados subproductos de procesos químicos industriales relacionados con el cloro y de procesos térmicos como producción de energía, fabricación de la pulpa y la pasta de papel con cloro, fabricación del acero, entre otros.

Estos plásticos se los identifica con su número de codificación dentro de un triángulo de flechas (Figura 6.2) para efectos de facilidad de separación para su reciclaje, debido a que las características particulares de los diferentes tipos de plásticos exigen generalmente un reciclaje por separado.

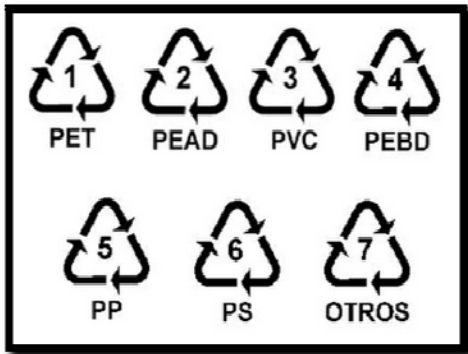


Figura 6.2 Codificación de los plásticos.

Fuente: Sitio web *Ecologismo*

Uno de los aspectos a considerar cuando se elige un material es su energía incorporada (*EE o embodied energy*), en el caso de los plásticos, ésta va a depender del tipo de plástico y de las resinas y aditivos que contengan. La mayoría de los termoplásticos tienen una energía incorporada más baja que los polímeros termoendurecibles. De todos los plásticos, el que tiene menor valor de *EE* es el PVC debido a que está mayormente compuesto por cloruro, cuya extracción de la salmuera demanda muy poca energía.

Dentro de los plásticos, como se mencionó anteriormente, podemos encontrar las alternativas más sustentables para sus análogos. Tal es el caso de los polietilenos de alta y baja densidad que, debido a su mejor desempeño, pueden sustituir a elementos de PVC a pesar de que su precio sea mayor. De ahí que es necesario realizar un análisis de costos y rendimiento durante el ciclo de vida de las posibles alternativas de materiales para de esta forma tomar la mejor decisión.

La práctica más sustentable para evitar los residuos plásticos es la reducción del consumo de este material desde el principio. Es así que, el uso de menos plásticos y la maximización de la vida útil de estos productos ayudarán a reducir el volumen de residuos. Por otra parte, la reutilización y reciclaje de éste material convierte los residuos en materia prima para otros productos, disminuyendo el consumo de combustibles fósiles y de los impactos asociados a su extracción y refinamiento.

Tabla 6.4 Tipos de plásticos más usados en la construcción		
Tipo de plástico, número de clasificación	Energía incorporada (MJ/kg)	Características de los plásticos y su uso en la construcción.
<p>Polietileno de alta densidad (PEAD)</p> <p>Clasificación: #2</p>	84.4	<p>El PEAD es un termoplástico fabricado a partir del etileno. Es muy versátil y se le puede transformar de diversas formas: inyección, soplado, extrusión, o rotomoldeo. Su apariencia es opaca. Resiste altas temperaturas (110 – 120 °C). Los productos más comunes de PEAD en la construcción incluyen plastimadera (material compuesto hecho de reciclado de plásticos y residuos de madera), tuberías para transporte de agua y para sistemas de riego, entre otros. La fabricación del PEAD produce menos contaminantes que la del PVC o del ABS. Los polietilenos son los plásticos con mayor potencial de reciclaje. Teóricamente, los polietilenos pueden ser reciclados varias veces sin presentar cambios significativos en sus propiedades debido a la falta de uniones cruzadas entre sus cadenas de polímeros.</p>
<p>Polietileno de baja densidad (PEBD)</p> <p>Clasificación: # 4</p>	78.1	<p>Al igual que el PEAD, el PEBD también es creado a partir de la polimerización del etileno. El PEBD es de color blanco opaco o translúcido y se usa para productos flexibles. Comparado con el PEAD, tanto térmica como estructuralmente, es menos resistente. Su aplicación como material para productos de construcción se encuentra en la plastimadera, geomembranas y geotextiles.</p>
<p>Polipropileno (PP)</p> <p>Clasificación: #5</p>	115.1	<p>El PP se obtiene a partir de la polimerización del propileno. Es un plástico rígido de alta cristalinidad y elevado punto de fusión, excelente resistencia química y baja densidad. Es más brillante que el PEAD y menos flexible que el PEBD. Se encuentra en geotextiles, geomembranas, tuberías, y fibras de refuerzo sintéticas para el concreto.</p>
<p>Cloruro de Polivinilo (PVC)</p> <p>Clasificación: #3</p>	95.1	<p>Se produce a partir de gas natural (47%) y Cloruro de vinilo (53%). Dicho cloruro es tóxico e inflamable. Para su procesamiento es necesario fabricar compuestos con aditivos especiales, que permiten obtener productos con propiedades variadas para un gran número de aplicaciones. Es resistente al fuego (no propaga la llama), aislante (térmico, acústico y eléctrico), durable, ligero, impermeable y reciclable. Es el plástico que depende menos del petróleo dado que en su composición depende en gran parte del cloruro. Su uso en la construcción incluye tuberías, cubiertas, cercados, muebles, entre otros.</p>
<p>Poliestireno (PS)</p> <p>Clasificación: #6</p>	88.6	<p>Se obtiene de la polimerización del benceno y estireno (sustancias cancerígenas). El PS, en general, posee elasticidad, cierta resistencia al ataque químico, buena resistencia (mecánica, térmica y eléctrica) y baja densidad. Es usado como aislante o cubierta en aplicaciones de paisaje. Dada su compleja composición química, su reciclaje es muy difícil.</p>
<p>Acrilonitrilo-butadienestireno (ABS)</p> <p>Clasificación: #ABS</p>	95.3	<p>El ABS tiene una alta resistencia a los impactos, incluso a muy bajas temperaturas. Su baja conductividad térmica permite usarlo en áreas frías y de control climático. Los productos más comunes de ABS son las tuberías.</p>
<p>Fuente: Meg Calkins, Materials for Sustainable Sites 2009</p>		

Los plásticos pueden ser reciclados varias veces para formar nuevos materiales y productos poliméricos. Existen tres formas de reciclar los plásticos: reciclaje mecánico, reciclaje químico y recuperación de energía. El reciclaje mecánico y el químico reciclan los plásticos en productos y compuestos de plástico. El sistema de recuperación de energía consiste en el uso de la energía calorífica producto de la quema de plásticos (cuyo reciclaje no es muy factible, tal es el caso de los ABS) para generar vapor o agua caliente, y/o energía eléctrica.

Las nuevas tecnologías en cuanto a plásticos se refiere, está integrada por tres categorías principales: plásticos compuestos, polímeros nanocompuestos y bioplásticos.

- Plásticos compuestos. Varias de las mejoras en los plásticos son resultado de la incorporación de materiales, aparte de las resinas, para formar plásticos compuestos de muy buen desempeño. Tal es el caso del aluminio o acero inoxidable que se le agrega a los plásticos para darles mayor resistencia y durabilidad, manteniendo su flexibilidad. Por ejemplo, se ha combinado aluminio con PEAD para fabricar telas plásticas a prueba de agua, con menor potencial de absorción de rayos UV, retardante de flamas, y reflectivas. El vidrio y materiales cerámicos también son combinados con plásticos para formar plásticos compuestos con mayor resistencia mecánica y a la abrasión.
- Polímeros nanocompuestos. Estos nanocompuestos están mejorando el desempeño de los plásticos, sobretodo su resistencia y durabilidad. Tal es el caso de nanoplaquetas de silicatos de aluminio integradas en los plásticos para darles mayor resistencia estructural y contra el impacto, y estabilidad dimensional. La incorporación de esta tecnología en la plastimadera podría hacerla estructuralmente competitiva al igual que algunos metales. Otros nanoplásticos que están en desarrollo son aquellos reforzados con fibras de bambú, microesferas de vidrio, o nanotubos de carbono. También se están desarrollando nanotubos para integrarse a las cubiertas plásticas de tal forma que colecten la energía solar, funcionando como nanopaneles.
- Bioplásticos. Son plásticos procedentes, en la mayoría de los casos, de plantas como la caña de azúcar, el trigo, la soya, o de polilactidas (fibra que se obtiene del maíz) y materiales celulósicos. Los bioplásticos son considerados como una alternativa preferente con respecto a plásticos derivados de combustibles fósiles, debido a que provienen de recursos renovables y muchos de ellos son biodegradables. Sin embargo, su desempeño en materia de resistencia y durabilidad aun está en desarrollo.

6.4.5 Biomateriales

La construcción de viviendas y de edificios públicos, es un sector donde también puede aprovecharse la biomasa, utilizando los denominados biomateriales para la construcción. Dichos materiales son el resultado del aprovechamiento de las fibras de plantas (lino, cáñamo, yute, pita/henequén), de subproductos del sector agrícola y forestal, en la producción de biomateriales.

Los materiales y productos de construcción orgánicos ofrecen diversos beneficios. La mayoría son biodegradables, no son tóxicos, por lo tanto sus residuos no son peligrosos. Al reemplazar a los productos a base de petróleo, el uso de bioproductos ayuda a reducir las emisiones de gases que contribuyen al efecto invernadero y a la contaminación ambiental, además de reducir la dependencia en recursos no renovables. En la tabla 6.5 se dan algunos ejemplos de biomateriales así como el origen de sus insumos.

Tabla 6.5 Biomateriales y sus insumos	
Categoría de Insumos	Ejemplo de biomaterial o producto usado en la construcción
Residuos biológicos reprocessados y reciclados	Fibra de celulosa
Subproductos residuos de la industria agrícola y forestal	Productos a base de fibra de coco para el control de la erosión. Pacas de paja Fibra de celulosa
Materiales cultivados o recolectados	Productos a base de yute para el control de la erosión. Cuerdas o hilos Estabilizadores de suelo y adhesivos Desmoldantes de concreto y asfalto Membranas de curado para concreto Productos de bambú
Fuente: Meg Calkins, <i>Materials for Sustainable Sites 2009</i>	

Estos biomateriales se encuentran presentes en las siguientes aplicaciones.

- Aislamiento térmico y acústico. Se utiliza lana de fibra de celulosa la cual se inyecta en los entretechos y en los muros para darles un mejor desempeño acústico y térmico, además de que le brinda mayor resistencia contra el fuego al elemento en el que se instala. La fibra de celulosa está hecha a base de papel reciclado. No contiene sustancias químicas tóxicas además de que su producción no daña al medio ambiente.

- Estructuras más ligeras. Esto es debido a los plafones fabricados a partir de fibra mineral y madera que contienen materiales reciclados, principalmente lana de escorias y fibra de celulosa, el porcentaje de éstos materiales varía desde un 18%, como mínimo, hasta un 79%. También contiene productos renovables y naturales como almidones (recurso agrícola renovable), perlita y arcilla.
- Acabados superficiales. Esto se ve representado por las biopinturas y biotintas hechas a partir de plantas oleaginosas (canola, soya y girasol).
- Control de erosión. Dicho control recae en el uso de *mulch*, geotextiles y fibras naturales las cuales funcionan como una capa que disminuye el desgaste del suelo superficial a causa de condiciones atmosféricas adversas.
- Aditivos para pavimentos. Estos aditivos, hechos a base de aceites vegetales de semillas como la soya, son membranas de curado y desmoldantes, los cuales remplazan a aquellos a base de aceite o keroseno. También hay adhesivos a base de plantas como la *Plantago Psyllium* que contiene soluciones acuosas espesas que aumentan la viscosidad del pavimento.

6.5 Diseñar para la Deconstrucción y el Desmontaje

Es innegable que durante la etapa de construcción de un proyecto existen desperdicios inherentes a la actividad que es muy difícil evitar. Sin embargo, existe una práctica llamada Diseñar para Deconstruir y Desmontar que consiste en un esfuerzo durante la etapa de diseño para maximizar el potencial de desmontaje del edificio para recuperar la mayor cantidad de componentes para su reutilización posterior, y de materiales para su reciclaje a fin de reducir la generación de residuos de construcción a largo plazo.

De acuerdo con Philip Crowther, de la Queensland Technical University, en Brisbane, Australia, existen 27 principios que sirven como guía para la selección de materiales, el diseño de productos y el desmontaje. A continuación se presentan los más significativos.

- Usar materiales reciclados y reciclables.
- Evitar los materiales peligrosos y tóxicos.
- Evitar segundos acabados a los materiales.
- Usar conexiones mecánicas en lugar de químicas.
- Usar diseños modulares.
- Diseñar las juntas y uniones de tal forma que soporten repetidos montajes y desmontajes.
- Usar materiales y estructuras ligeras.
- Guardar información acerca del proceso de ensamblaje del edificio.

Por otra parte, el caso de la deconstrucción ofrece una alternativa a la demolición que tiene dos resultados positivos: primero, es una mejor elección ambiental; segundo, servirá para crear nuevos negocios, dismantelar edificios, transporte de materiales y componentes recuperados, volver a manufacturar y procesar componentes, y revender los materiales usados y recuperados.