



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

EDIFICACIÓN SUSTENTABLE

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA CIVIL

P R E S E N T A :

RUBÍ ELYDETH RODRÍGUEZ MENDOZA

DIRECTORA DE TESIS:

M. I. ALBA BEATRIZ VÁZQUEZ GONZÁLEZ



MÉXICO, D.F.

AGOSTO 2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A mi casa de estudios, la Universidad Nacional Autónoma de México, por abrirme sus puertas y brindarme un inmenso campo de conocimientos y oportunidades para mi desarrollo académico.

A la Facultad de Ingeniería y a mis profesores, por su compromiso con la formación de excelentes profesionistas, futuros líderes en sus respectivos campos de estudio, quienes pondrán en alto el nombre de la universidad en México y en el mundo.

A la Dirección General de Cooperación e Internacionalización y a la M. en I. Adriana Cafaggi y a la DGCI por guiarme en el camino correcto y darme la oportunidad de estudiar en la Universidad de Stanford, CA, E.U. (Verano, 2009). A la Dra. Martha Navarro y al Dr. Sergio Alcocer por confiar en mí para representar a mi universidad y a México en el *G8 University Student's Summit*, Alberta, Canadá (Mayo, 2010) sobre sustentabilidad energética y en la salud, alentando mi interés y pasión en la aplicación del tema en la Ingeniería Civil.

A mi directora de tesis la M. en I. Alba Vázquez quien con su gran preparación en el área de ingeniería ambiental, y calidad humana ha apoyado de manera importante y decisiva la elaboración, desarrollo y aprobación del presente trabajo.

A mis padres por haberme enseñado todas las cosas importantes de la vida. Por haber compartido conmigo todos esos valores sobre los cuales se ha formado mi personalidad. Por haberme brindado abrigo, seguridad, amor, y todo lo que necesitaba para crecer y desarrollarme. Por asegurarme que podía alcanzar el éxito en cualquier cosa sí creía en mí, de la misma manera que ellos lo hacían. Por haberme inculcado la búsqueda de la excelencia en cada una de mis acciones. Por todo eso y mucho más, gracias papás.

A mi hermano Carlos, quien desde el momento que llegó a mi vida ha sido más que un hermano, es consejero, compañero de juegos, desveladas, triunfos y fracasos. Y por ser un amigo incondicional que me ha brindado su confianza, amistad y cariño.

A mi familia por acompañarme a lo largo de mi vida y apoyarme incondicionalmente. Por demostrarme que no importan las adversidades y los obstáculos a los que nos enfrentemos en la vida, unidos siempre podremos superarlos. Y por buscar siempre mantener la unión familiar.

A mis amigos por haberme acompañado en esta etapa de mi vida compartiendo experiencias, logros, proyectos, desveladas, exámenes, y celebraciones. Por haber hecho de mi estancia en la universidad una experiencia inolvidable. Y por haberme enseñado que así como la escuela es nuestra segunda casa, nuestros amigos son nuestra segunda familia.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
1 DESARROLLO SUSTENTABLE EN LA INGENIERÍA CIVIL.....	5
1.1 LA INGENIERÍA CIVIL TRADICIONAL.....	5
1.2 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL ACTUAL	8
1.3 LA INGENIERÍA CIVIL Y LA SUSTENTABILIDAD.....	14
2 PRINCIPIOS PARA LA INTEGRACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD EN LOS PROYECTOS DE INGENIERÍA.....	21
2.1 EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE	21
2.1.1 <i>Sistemas Tradicionales vs Sistemas de Edificación de Alto Rendimiento</i>	<i>22</i>
2.1.2 <i>Ejecución del Proyecto de Construcción Sustentable</i>	<i>24</i>
2.1.3 <i>El Papel del Propietario</i>	<i>25</i>
2.2 EL PROCESO DE DISEÑO INTEGRAL (IDP)	26
2.2.1 <i>El Proceso de Diseño Convencional</i>	<i>27</i>
2.2.2 <i>El Proceso de Diseño Integral.....</i>	<i>28</i>
2.2.3 <i>Elementos Principales del IDP</i>	<i>29</i>
2.2.4 <i>Pasos de un IDP.....</i>	<i>30</i>
2.2.5 <i>Etapas Técnicas de un IDP</i>	<i>31</i>
2.3 CERTIFICACIÓN DE EDIFICIOS SUSTENTABLES	37
2.3.1 <i>LEED.....</i>	<i>39</i>
2.3.2 <i>BREEAM</i>	<i>41</i>
2.3.3 <i>CASBEE</i>	<i>42</i>
2.3.4 <i>GREEN STAR</i>	<i>43</i>
3 CRITERIOS DE SUSTENTABILIDAD EN EL USO DE ENERGÍA.....	45

3.1	ESTRATEGIAS PARA UN DISEÑO DE ALTO RENDIMIENTO ENERGÉTICO	47
3.2	DISEÑO PASIVO	48
3.3	REDUCCIÓN Y CONTROL DE CARGAS INTERNAS	51
3.4	SISTEMAS MECÁNICOS.....	52
3.4.1	<i>Enfriadores</i>	52
3.4.2	<i>Sistemas de Distribución de Aire</i>	53
3.4.3	<i>Sistemas de Recuperación de Energía</i>	54
3.5	SISTEMAS SOLARES DE CALEFACCIÓN DE AGUA	56
3.6	SISTEMAS ELÉCTRICOS Y MOTORES	57
3.6.1	<i>Sistemas de Iluminación</i>	57
3.6.2	<i>Sistemas de Control de Iluminación</i>	60
3.6.3	<i>Motores Eléctricos</i>	60
3.7	TECNOLOGÍAS VANGUARDISTAS EN LA OPTIMIZACIÓN DE ENERGÍA.....	61
3.7.1	<i>Enfriamiento por Radiación</i>	61
3.7.2	<i>Sistemas Geotérmicos</i>	62
3.7.3	<i>Energías Renovables</i>	63
3.8	EDIFICIOS INTELIGENTES Y SISTEMA DE CONTROL DE ENERGÍA	66
4	CRITERIOS DE SUSTENTABILIDAD EN EL USO DE AGUA.....	69
4.1	ESTRATEGIA DEL SISTEMA HIDROLÓGICO DEL EDIFICIO.....	70
4.2	ESTRATEGIA PARA EL CONTROL DE AGUA EN EL EDIFICIO	72
4.2.1	<i>Dispositivos de Bajo Flujo</i>	72
4.2.2	<i>Captación de Agua de Lluvia</i>	74
4.2.3	<i>Sistemas de Aguas Grises</i>	76
4.3	ESTRATEGIA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL EN EL EDIFICIO	77
4.3.1	<i>Humedales artificiales</i>	77
4.3.2	<i>Máquinas Vivas</i>	79
4.4	ESTRATEGIA PARA EL USO EFICIENTE DE AGUA EN JARDINERÍA	80
5	CRITERIOS DE SUSTENTABILIDAD EN EL USO DE SUELO Y PAISAJE	81
5.1	ELEMENTOS SUSTENTABLES EN EDIFICACIONES.....	81
5.2	ASPECTOS DE USO DEL SUELO.....	82
5.3	CONTROL DE EROSIÓN Y SEDIMENTOS.....	83
5.4	PAISAJE SUSTENTABLE	83
5.5	JARDÍN VERTICAL	85

5.6 SISTEMAS DE CONTROL DE AGUA PLUVIAL	86
5.6.1 Azoteas Verdes.....	87
5.6.2 Concreto Permeable.....	88
5.7 SISTEMAS DE BIORRETENCIÓN	89
5.8 MITIGACIÓN DEL EFECTO ISLA DE CALOR.....	91
5.9 REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN Y TRASPASO LUMINOSO.....	92
6 CRITERIOS DE SUSTENTABILIDAD EN EL USO DE MATERIALES	93
6.1 DEFINICIÓN DE MATERIALES/ PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLES	94
6.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MATERIALES/ PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLES	95
6.3 EVALUACIÓN DEL CICLO DE VIDA	97
6.4 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	99
6.4.1 Concreto	99
6.4.2 Metales	102
6.4.3 Madera	106
6.4.4 Plásticos.....	108
6.4.5 Biomateriales.....	112
6.5 DISEÑAR PARA LA DECONSTRUCCIÓN Y EL DESMONTAJE.....	113
7 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS PROYECTOS DE EDIFICACIÓN SUSTENTABLE.....	115
7.1 ENFOQUE GENERAL.....	117
7.2 ASPECTOS DE MERCADO	119
7.3 ASPECTOS ECONÓMICOS	120
7.4 CUANTIFICACIÓN DE COSTOS Y BENEFICIOS	121
7.4.1 Energía.....	121
7.4.2 Agua.....	122
7.4.3 Salud y Productividad.....	124
7.4.4 Puesta en Marcha	124
7.5 CONTROL DE COSTOS INICIALES	125
7.6 CASO ESTUDIO. TORRE HSBC	128
8 CONCLUSIONES	133
BIBLIOGRAFÍA.....	137

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1 Etapas de un proyecto	5
Figura 1.2 Presa "El Capulín".....	6
Figura 1.3 Las tres esferas de la sustentabilidad.....	15
Figura 1.4 Esquema para la construcción sustentable.....	18
Figura 2.1 Oportunidades de cambio y el proceso de diseño.....	29
Figura 2.2 Diagrama del IDP.....	32
Figura 2.3 Nivel de sustentabilidad de un edificio bajo el esquema CASBEE.....	43
Figura 3.1 Diseño de la remodelación de la Casa York.....	46
Figura 3.2 <i>Hipercentro verde</i> , Milán, Italia.....	48
Figura 3.3 Sistema de aire acondicionado: ventilación por desplazamiento.....	54
Figura 3.4 Sensor entálpico.....	55
Figura 3.5 Tipos de calentadores solares.....	56
Figura 3.6 El <i>Yas</i> Hotel.....	57
Figura 3.7 El foco LED GE <i>Energy Smart</i>	58
Figura 3.8 Fibra óptica subacuática.....	59
Figura 3.9 Esquema de un sistema de enfriamiento por radiación.....	62
Figura 3.10 Disposición de tuberías en los sistemas geotérmicos.....	63
Figura 3.11 Tipos de cristales en la tecnología <i>BIPV</i>	64
Figura 3.12 Tipos de sistemas eólicos.....	64
Figura 3.13 Esquema del funcionamiento de una celda de combustible....	65
Figura 4.1 Fluxómetro de doble descarga.....	73
Figura 4.2 Elementos de un sistema de captación de agua pluvial.....	74

Figura 4.3	Corte transversal esquemático de un humedal artificial.....	78
Figura 4.4	Living Machine, edificio <i>EcoCentre</i>	79
Figura 5.1	Museo de la calle Branly, Paris.....	85
Figura 5.2	Capas que integran un sistema de azotea verde.....	88
Figura 5.3	Concreto permeable.....	89
Figura 5.4	Sistemas de bioretención.....	90
Figura 5.5	Corte transversal de una cuenca de retención.....	90
Figura 6.1	Diagrama del ciclo de vida de un material.....	97
Figura 6.2	Codificación de los plásticos.....	109
Figura 7.1	Torre HSBC.....	129
Figura 7.2	Contenedores para la separación de 5 tipos de residuos, y azotea verde.....	130

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1 Principios de la construcción sustentable.....	17
Tabla 2.1 Categorías de LEED-NC 2009.....	40
Tabla 2.2 Niveles de certificación LEED-NC 2009.....	40
Tabla 2.3 Niveles de certificación de GREEN STAR.....	44
Tabla 6.1 Efectos de los SCM en las propiedades de concreto fresco.....	100
Tabla 6.2 Efectos de los SCM en las propiedades de concreto endurecido	101
Tabla 6.3 Características de los metales.....	104
Tabla 6.4 Tipos de plásticos más usados en la construcción.....	110
Tabla 6.5 Biomateriales y sus insumos.....	112
Tabla 7.1 Costos adicionales dependiendo del nivel de certificación LEED-NC.....	117
Tabla 7.2 Ahorros en diversas categorías para edificios LEED certificados	118
Tabla 7.3 Comparación entre el rendimiento energético entre un edificio base y un edificio sustentable.....	122
Tabla 7.4 Análisis de ahorros debidos a la instalación de mingitorios secos en lugar de mingitorios de descarga.....	122
Tabla 7.5 Costos de puesta en marcha para proyectos de construcción sustentable.....	125

INTRODUCCIÓN

Actualmente vivimos en un mundo frágil producto del agotamiento y excesiva explotación de recursos naturales a un ritmo que ya no es sustentable, del rápido crecimiento de la población y de actividades y prácticas acompañadas de un grado innecesario de contaminación. De ahí que sea indispensable que la humanidad tome acciones para reducir el daño que le hemos causado a nuestro planeta. Por parte de la ingeniería civil, resulta de vital importancia el actuar de manera proactiva y cambiar rápidamente de las prácticas excesivas y perjudiciales hacia un esquema bajo el cual la ingeniería civil y la naturaleza trabajen sinérgicamente en lugar de antagónicamente con el fin de preservar y mejorar la calidad de la vida en la Tierra. Este esquema responde al concepto de la sustentabilidad, el cual se abordará a lo largo del presente trabajo acompañado de una gama de múltiples soluciones aplicadas a la ingeniería civil, y en especial a los proyectos de edificación sustentable.

El presente trabajo tiene el objetivo de investigar las tendencias y tecnologías de vanguardia adoptadas a nivel mundial en el desarrollo de proyectos de edificación sustentable, con la finalidad de integrar un documento que incluya: los aspectos básicos que los estudiantes de ingeniería civil deben de saber sobre (1) la toma de decisiones incorporando criterios de sustentabilidad, (2) los elementos principales del diseño, y (3) las estrategias y practicas sustentables en la ejecución de proyectos.

En el primer capítulo se analizan las características de la ingeniería civil tradicional y su impacto al medio ambiente, se aborda la situación actual del planeta en materia de deterioro ambiental, y se propone la adopción de un nuevo enfoque en la ingeniería civil que promueve la relación sinérgica entre sociedad, economía y medio ambiente en el desarrollo de proyectos de ingeniería.

En el segundo capítulo se presentan las prácticas que permiten la integración de la sustentabilidad en los proyectos de ingeniería civil, se analiza la diferencia entre el proceso de construcción tradicional versus el proceso de diseño integral usado en los proyectos de edificación sustentable, se explica cómo introducir el proceso de diseño integral en las

diferentes etapas que constituyen un proyecto, y se dan a conocer algunos de los esquemas de certificación de edificios sustentables.

En el tercer capítulo se aborda el tema de la sustentabilidad energética en edificios sustentables, se estudian aspectos del diseño pasivo y de cargas internas como estrategias para la disminución del consumo energético en el edificio, se proponen alternativas para uso eficiente de energía en los sistemas mecánicos y eléctricos del edificio, se dan a conocer tecnologías de vanguardia en la optimización de energía, y se aborda la implantación de un sistema de control de energía integrado al edificio como pieza clave dentro de las edificaciones.

En el cuarto capítulo se estudian diversas prácticas y estrategias sustentables aplicables en el uso de agua en el edificio, se presentan alternativas para el control y reducción así como para su reutilización; se analizan soluciones para el control y aprovechamiento de agua pluvial, se presentan sistemas naturales para el tratamiento de agua residual, y se analizan estrategias para el uso eficiente del agua en jardinería.

En el quinto capítulo se dan a conocer algunas propuestas para la aplicación de la sustentabilidad en el uso del suelo y el paisaje, se presentan estrategias para disminuir el impacto en el suelo, se estudian diversas opciones de aprovechamiento del suelo y del paisaje para su adaptación como sistemas de bioretención para el control de agua pluvial y recarga de mantos acuíferos, y se aborda la importancia de la mitigación del efecto isla de calor así como del traspaso luminoso.

En el sexto capítulo se definen los materiales/productos sustentables así como los criterios para su selección, se explica el concepto de ciclo de vida de los materiales, se explican las principales características de los materiales/productos de construcción (concreto, metales, madera, plásticos y biomateriales), se proponen prácticas para la elección con un enfoque sustentable en función de las propiedades y uso futuro de cada material, y se presenta el concepto de diseñar para la deconstrucción y el desmontaje como estrategia para disminuir el uso de recursos y la generación de residuos.

En el séptimo capítulo se dan a conocer las variables que intervienen en el análisis económico de los proyectos de edificación sustentable, se abordan aspectos económicos y de mercado, se presentan ejemplos de la cuantificación de los costos y beneficios en materia de energía, agua, salud y productividad, y puesta en marcha, se proponen estrategias y prácticas para el control y reducción de costos iniciales en el proyecto, y se presenta el caso de la Torre HSBC como ejemplo de un edificio certificado sustentable en México.

Y finalmente, en el octavo capítulo se dan a conocer las conclusiones a las que se llegó después de la realización del presente trabajo.

Debido a la importancia que tiene actualmente la integración de la sustentabilidad en los proyectos de edificación a nivel mundial, es necesario y de vital interés que los ingenieros civiles posean los conocimientos fundamentales con respecto al diseño y ejecución de proyectos sustentables. Por tal motivo, para la realización del presente trabajo se desarrolló una exhaustiva investigación bibliográfica (la gran mayoría de las fuentes consultadas en inglés) en libros especializados, artículos, publicaciones y medios electrónicos en materia de construcción sustentable de vanguardia, con el fin de integrar un material de consulta en español, dirigido a estudiantes de ingeniería civil, el cual presenta y analiza una amplia gama de temas relacionados con el desarrollo sustentable presentando la forma de aplicarlos en la ingeniería civil.

Este trabajo representa el primer paso (dado que es un tema no incluido aún en el mapa curricular de la carrera) para la integración de la sustentabilidad en la formación de futuros ingenieros con una visión más global de la situación actual de la ingeniería civil, proporcionándoles los conocimientos fundamentales para el desarrollo de proyectos de edificación sustentables.

CAPÍTULO 1. DESARROLLO SUSTENTABLE EN LA INGENIERÍA CIVIL

1.1 La Ingeniería Civil Tradicional

Generalmente se dice que un ingeniero civil es aquel profesionalista que está capacitado para “participar en las etapas de planeación, diseño, organización, construcción, operación y conservación de obras civiles y de infraestructura” (Facultad de Ingeniería, UNAM).

De ello resulta la adopción y uso de este esquema en los proyectos de ingeniería civil, el cual, a pesar de que a lo largo de la historia ha funcionado muy bien, no cumple con las exigencias del mundo actual. Carece de una visión a largo plazo, al igual que de etapas claves, ya que aquellas que incluye no son suficientes. Para analizar las etapas de un proyecto debe partirse del hecho de que éste tiene un ciclo de vida. Es decir que si hay una etapa para el nacimiento de un proyecto, como lo es la planeación, también debería tenerse una etapa para la muerte (fin de su vida útil). Con esto en mente, se propondrá la expansión del esquema tradicional a uno con un enfoque más global (Figura 1.1) constituido por las siguientes etapas: planeación, desarrollo, diseño, construcción, uso y operación, mantenimiento, modificación y deconstrucción (Kilbert, 2009).

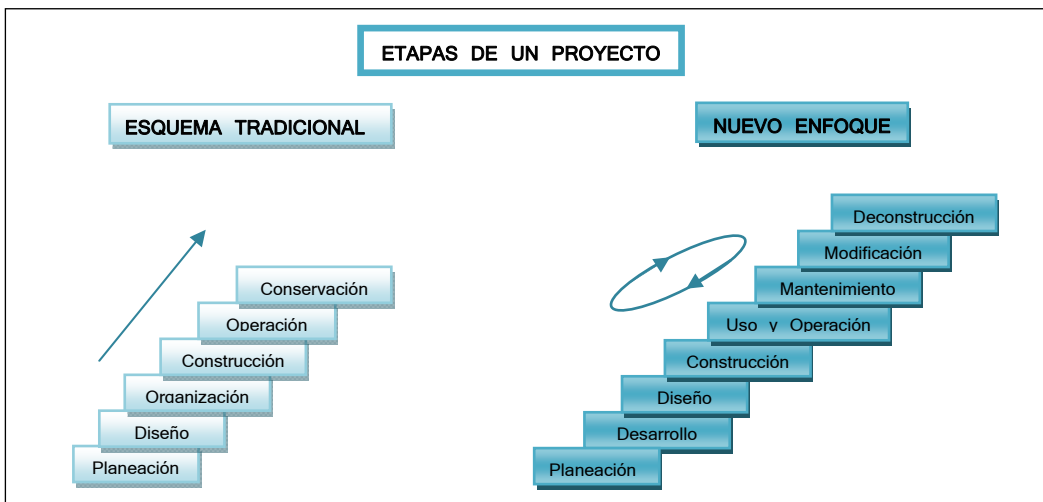


Figura 1.1 Etapas de un proyecto. Fuente: Basado en C.J. Kilbert, *Sustainable Construction 2009*, y modificado por la autora.

Habitualmente estas dos últimas etapas no se consideran al desarrollar un proyecto, aunque son tan importantes como cualquier otra etapa.

Es común ver proyectos en los que una vez concluida su vida útil, se abandonan y terminan por convertirse en una fuente de contaminación ambiental (Figura 1.2). Situación que ocurre debido a que no se analizó si podrían modificarse para volver a ser útiles o cuáles serían los procedimientos para su deconstrucción¹. Tradicionalmente no se han tomado en cuenta los impactos que tiene un proyecto en el medio biofísico y socioeconómico, lo que se ha establecido generalmente es cumplir con que el proyecto se concluya en tiempo, costo y calidad. Un instrumento de la planeación incluye a los estudios de impacto ambiental, que tienen como objetivo determinar los impactos del proyecto y las medidas de mitigación, pero que en muchos casos se ven como un requisito, no como un compromiso real por minimizar los impactos negativos al ambiente a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto y de los materiales que lo constituyen. Es por esto que las etapas de un proyecto deben ampliarse de tal forma que permitan un análisis del proyecto dentro de una perspectiva más real de su ciclo de vida.



Figura 1.2 Presa “El Capulín”. Un claro ejemplo de las consecuencias de no tomar en cuenta la deconstrucción de un proyecto al final de su vida útil. Fuente: Tomadas por Francisco Peña.

Es necesario cambiar el enfoque que se ha venido dando con respecto a la ingeniería civil, de tal forma que además de los aspectos económicos y técnicos, se consideren los sociales y ambientales.

¹ Etapa en la que se busca 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.

El análisis de la currícula de la carrera de ingeniería civil conduce a que un ingeniero es el profesional capacitado para “entender y prever tanto las propiedades mecánicas de los materiales, como el comportamiento de las estructuras y las obras de construcción, y con base en ello, prever los impactos sociales, ecológicos y económicos que estas pudieran ocasionar” (Facultad de Ingeniería, UNAM).

Si bien es cierto que se estudian estos aspectos en las diversas asignaturas en la carrera de ingeniería civil, no se ha llegado a su completa implantación en el ejercicio de la misma, así que aún hay un largo camino por recorrer, pero todo comienza con un cambio en el enfoque en la enseñanza de la ingeniería civil. Debe tenerse en cuenta que no sólo importa cuánto se gane económicamente en un proyecto, sino también cuál es el beneficio para el mundo.

Otro aspecto importante, es el relativo a la organización de los grupos de trabajo en un proyecto, donde no hay una interacción entre las partes involucradas. Esto puede ejemplificarse al analizar un extracto del libro de administración de proyectos (Walsh, 1995) en donde se establece:

“En la fase inicial de la planeación, el propietario, el gerente del proyecto, y posiblemente algunos asesores y usuarios, serán las únicas fuentes de información. Su contribución principal será el análisis de factibilidad. Después, asesores adicionales en ingeniería prepararan los planos o diseños de ingeniería preliminares. Conforme se desarrolla el plan, se preparan documentos detallados. El planificador estudiará esta documentación y hará preguntas a cada uno de los miembros del diseño del proyecto de equipo de construcción, con el fin de lograr conocimiento en sus áreas particulares y determinar la relación con las operaciones en otras áreas.”

Puede percibirse cómo, en uno de los procesos claves de un proyecto, se encuentran los equipos de planeación por un lado, los de diseño por otro, los de construcción también por otro lado, y los encargados de la operación y mantenimiento ni siquiera se mencionan. Normalmente no hay una integración de los grupos de trabajo de un proyecto. Lo que sucede generalmente es que una empresa hace la parte de planeación, otra la de construcción, y otra de la operación, y cada quien se encarga de su parte del proyecto pero sin tomar en cuenta de manera directa a las otras. He aquí la necesidad de integrar a los responsables de cada etapa, en las otras etapas del proyecto. Principalmente en la planeación y el diseño, ya que es en estas etapas donde se pueden lograr los mayores beneficios económicos, ambientales y sociales del proyecto. La omisión de esta práctica trae como consecuencias atrasos en la obra, disminución de utilidades, e impactos negativos para el ambiente y la sociedad.

Todo debido a una deficiente comunicación entre los responsables de los equipos del proyecto.

En la evaluación de proyectos se dispone de varios métodos para la elección de la mejor alternativa, tales como: el valor presente neto, periodo de retorno de la inversión, análisis costo-beneficio, entre otros. Sin embargo, en su aplicación tradicional hay algunos aspectos que conviene perfeccionar: (1) los costos y beneficios futuros son analizados con tasas más adecuadas a los mercados financieros, sin tomar en cuenta el agotamiento de los recursos a mediano y largo plazo; (2) los costos y beneficios para terceras personas son excluidos; (3) hay dificultades para establecer y acordar métodos de valoración de beneficios y costos intangibles que afectan la vida de las personas y del medio ambiente (Carpenter, 2001). Aunque el principal problema recae en el enfoque de costos iniciales, sin tomar en cuenta el ciclo de vida del proyecto, lo cual es inconveniente, como verá en el capítulo 7 donde se demuestra que un proyecto que cuida el ambiente, traerá una amplia gama de beneficios a mediano y largo plazo, como por ejemplo, comodidad de los usuarios finales, aprovechamiento del potencial intrínseco de los recursos naturales, reducción los costos operativos y de mantenimiento, entre otros.

1.2 Problemática Ambiental Actual

La ingeniería civil y sus efectos en el ambiente

La ingeniería civil es una profesión que desde tiempos antiguos ha impulsado el progreso de nuestra sociedad a través de la construcción de edificios, caminos, puentes, acueductos, presas, sistemas de agua potable, y otras obras de infraestructura. Paradójicamente este desarrollo ha resultado en severos daños ambientales debido a la gran cantidad de recursos naturales demandados así como a la contaminación que produce.

En materia de impactos ambientales, es indudable que no hay alguna otra actividad humana cuyos impactos afecten de forma tan directa, compleja y a largo plazo al ambiente como las obras de ingeniería.

Pero no siempre fue así, antes, los agricultores practicaban la conservación del suelo; los ingenieros construían vías de comunicación y acueductos de tal manera que se adaptaran al entorno, o sirvieran para su desarrollo; la elección de los materiales de construcción, como ladrillo o piedra se hacía de tal forma que se buscaba el aprovechamiento de las características del lugar, en lugar de su destrucción. Pero la creciente demanda de las sociedades en desarrollo, primero por agua y tierras fértiles, después por recursos minerales y

recientemente por combustibles fósiles no renovables fáciles de explotar, ha resultado en una tasa de agotamiento de los recursos nunca antes vista.

De ahí que, de no tomar medidas para contener esta demanda, en el largo plazo, las futuras generaciones se enfrentarán a una escasez de recursos que amenazará su calidad de vida al igual que la del planeta en general.

Sexta extinción

De acuerdo a un artículo publicado por los *Angeles Times*, “Cada veinte minutos, en algún lugar de la Tierra, perdemos una especie animal. Si esto continua al mismo ritmo que hasta ahora, para finales del siglo, el 50% de las especies habrán desaparecido” (Corwin, 2009). Este fenómeno forma parte de lo que se conoce como la sexta extinción. La quinta extinción fue hace 65 millones de años cuando un meteorito chocó contra la Tierra, matando a dinosaurios y otras especies, y abriendo al mismo tiempo las puertas para el desarrollo de los mamíferos. Actualmente, la sexta extinción está en camino de sobrepasar a la quinta.

Algunos de los procesos que han contribuido a este fenómeno son:

- Cambio climático

Es la variación del clima de la Tierra con respecto al tiempo, lo cual provoca un aumento de la temperatura, un cambio en la distribución de especies y en la química del océano, un aumento de los niveles del mar, el derretimiento de los glaciares, un cambio en los patrones de las corrientes marinas, etc. Este cambio afectará la producción de alimentos y obligará a las personas a desplazarse a zonas urbanas menos afectadas, reduciendo la biodiversidad, y principalmente la calidad de vida.

- Agotamiento del ozono:

Este proceso es causado por la emisión de clorofluorocarbonos (**CFC's**), hidroclorofluorocarbonos (**HCFC's**), y otras sustancias usadas en gran medida en refrigerantes, espumas aislantes, y solventes. A pesar de esta disminución del ozono, existe la posibilidad de que regrese a sus niveles normales para el año 2050, asumiendo que el Protocolo de Montreal (1987) sea seguido por la comunidad internacional.

- Deforestación

La deforestación es el proceso de destrucción de los bosques y una de las causas más importantes que contribuyen al efecto invernadero. Por una parte, la quema o descomposición de la madera libera dióxido de carbono, y por otra, los árboles que una vez eliminaron el

dióxido de carbono de la atmósfera, son destruidos. Además, es sabido que la deforestación en gran escala afecta el albedo, o reflectividad, de la Tierra, alterando la temperatura y energía superficial, al igual que el índice de evaporación de las aguas superficiales y los patrones de lluvia. De acuerdo la WWF México, “en México, la tasa anual de pérdida de bosques y selvas ha sido estimada entre 300 000 y 1 500 000 hectáreas” (Ibarra, 2007).

- Desertificación

La desertificación se presenta en regiones áridas y semiáridas como resultado de la degradación de la tierra, producida por la erosión del suelo. Su principal característica es la destrucción de la cubierta vegetal natural.

- Erosión

La erosión es el desgaste de la superficie terrestre por agentes externos, como el agua o el viento. Y es en parte, resultado de la deforestación, dado que al no haber árboles (o más específicamente, raíces) que contengan al suelo e impidan su desgaste, éste proceso ocurrirá con mayor rapidez.

- Eutroficación

Es junto con la acidificación, una de las dos condiciones que amenazan los ecosistemas acuáticos. La eutroficación se refiere al incremento excesivo de nutrientes inorgánicos en un cuerpo de agua, provenientes de fertilizantes agrícolas, escurrimientos urbanos, descargas de aguas residuales, entre otros. De modo que se provoca un exceso de malezas que bloquean la luz solar, hecho que a su vez hace inviable la existencia de la mayoría de las especies que previamente formaban el ecosistema.

- Acidificación

Es el proceso mediante el cual la contaminación del aire, en forma de amonio, dióxido de azufre, y óxidos de nitrógeno, liberada a la atmósfera mediante la quema de combustibles fósiles, es convertida en ácidos.

- Pérdida de biodiversidad

Es una consecuencia del daño causado por los diferentes procesos previamente mencionados que conllevan una disminución en la variedad y cantidad de organismos vivientes en un ecosistema. México es uno de los 10 países más diversos del mundo. No sólo alberga más del 10% de las plantas terrestres y vertebrados del planeta en un área que representa sólo el 1% de la superficie de la Tierra, sino que también destaca por poseer fauna

y flora únicas (endémicas). Sin embargo, según *La Crónica* en los últimos 30 años se han perdido 50 especies de animales y actualmente 40% se encuentran en peligro de extinción (Torres, 2007) De aquí que nos demos cuenta que vivimos en un país muy rico y frágil a la vez, al que hay que proteger. Es por eso que es responsabilidad de todos los sectores de la economía (en nuestro caso, de la ingeniería) tomar medidas dentro de sus ámbitos para fomentar la preservación y protección de la naturaleza.

- Contaminación del aire, agua y suelo:

Es resultado de prácticas no sustentables en el desarrollo de la sociedad. Por ejemplo, “La industria de la construcción es una importante fuente de contaminación, responsable de alrededor del 4% de las emisiones de partículas, mayores incidentes de contaminación de agua que cualquier otra industria” (*Sustainable Build*, 2009), y una disminución en las funciones naturales del suelo.

- Agotamiento de las reservas de metales

De acuerdo a un estudio sobre la explotación de metales, “actualmente, las reservas de metales están siendo explotadas a un ritmo que no es sustentable. A nivel mundial, el 26% de cobre extraíble de la corteza terrestre es perdido en desechos no reciclables; el 19% en el caso del zinc. Aunque estos dos metales no están en riesgo de desaparecer en un mediano plazo, metales escasos como el platino sí lo están. Es por esto que si el consumo de metales continúa aumentando, y no se toma ninguna medida para mitigar las consecuencias, aún las reservas de metales más abundantes podrían llegar a estar en peligro de agotarse (*Yale University*, 2006)

Los aspectos antes mencionados resumen los impactos ambientales producidos de manera directa e indirecta por las actividades humanas. Con base en lo anterior, comprenderemos mejor la situación actual de nuestro planeta en materia ambiental que se describe a continuación.

Situación actual del planeta

A pesar de los importantes avances tecnológicos logrados en los siglos XIX y XX, en cuestión ambiental hemos fallado en conservar los recursos naturales de la Tierra. Así pues, enunciaremos cinco aspectos importantes que muestran el porqué.

1. La población de la Tierra se ha triplicado en el último siglo.
2. Los suelos aptos para la agricultura, al igual que las fuentes de suministro de agua se están agotando. Con el fin de incrementar la producción de comida al mismo ritmo que el crecimiento de la población, se han desarrollado e implantado procesos de mecanización, intensificación, modificación biológica y sistemas de riego, que han beneficiado a la sociedad a expensas de un aumento en el consumo de energía, pérdida de flora y fauna, y en algunos casos la degradación de la tierra.
3. El ambiente se ha dañado, varias especies han sido extintas, y el equilibrio entre la interdependencia de los seres vivos y su ecosistema se ha roto.
4. Los recursos minerales han sido explotados con una rapidez nunca antes vista, principalmente en el caso de las reservas de petróleo y gas natural, a causa de la dependencia en los combustibles fósiles como principal fuente de energía en las actividades humanas.
5. La tierra ha sido devastada por la minería, el manejo y disposición de residuos, contaminación del suelo, y efluentes tóxicos provenientes de procesos químicos.

Con base en todo lo anterior, no cabe duda que la calidad de vida de muchas personas se encuentra en una condición crítica. Condición que responde al agotamiento de recursos naturales a un ritmo que ya no es sustentable, dado el rápido crecimiento de la población y la excesiva explotación de recursos acompañada de un grado innecesario de contaminación.

Retos éticos

Es claro que los seres humanos tenemos una gran responsabilidad con las generaciones futuras en materia de conservación de recursos y del ecosistema en general, tal como lo expresa el ecologista Gary Peterson:

“Los humanos, individualmente o en grupos, pueden anticiparse y prepararse para el futuro en un grado mucho mayor que los sistemas ecológicos... La diferencia entre los sistemas humanos con visión hacia el futuro y los sistemas naturales que se basan en el pasado es fundamental. Esto significa que entender el papel de las personas en los sistemas ecológicos

requiere no solo de entender cómo las personas actuaron en el pasado, sino también cómo piensan hacia el futuro.” (Kilbert, 2009)

Lo cual es totalmente cierto, los humanos hemos desarrollado tecnologías y modelos probabilísticos que nos predicen el futuro de ciertos parámetros, y actuamos con base en ello. Por ejemplo, si va a ocurrir un tornado, nos alejamos de la zona que será afectada; va ocurrir un sismo, salimos del lugar en el que estemos para protegernos. En cambio, la naturaleza no puede hacer lo mismo, solo reacciona y evoluciona en función de los sucesos del pasado, no puede prepararse para el futuro, nosotros sí. De manera que así como somos capaces de inventar tecnologías que nos ayuden a mejorar nuestra calidad de vida, también tenemos la capacidad de destruir nuestro ambiente con impactos que pueden llegar a ser irreversibles.

De aquí que las decisiones que tomemos con respecto a cómo actuar en el futuro “deberán estar basadas en (1) un esquema ético que represente la responsabilidad moral con las futuras generaciones; (2) en la voluntad de aceptar y entender el riesgo; (3) y los costos económicos de su aplicación y los impactos resultantes” (Carpenter, 2001).

Estrategias a implantar

Con los tres puntos anteriores en mente, y con el fin de reducir el daño que le estamos causando a nuestro planeta, es necesaria la adopción de estrategias en materia de:

- **Política:** Implica reglamentaciones más estrictas en materia ambiental, acciones para fomentar el control de la natalidad, al igual que un mayor control del crecimiento de las áreas urbanas.
- **Ciencia:** Se refiere a la invención de tecnologías que nos ayuden a reducir la contaminación, a hacer sustentable la producción de alimentos, y a mantener la calidad de vida de las personas sin dañar al ambiente, entre otras.
- **Construcción:** Involucra aplicar nuevos métodos y enfoques en la industria de la construcción que reduzca su impacto ambiental y encuentre una sinergia con su entorno.
- **Sociedad:** Conlleva la participación de la sociedad para mejorar su entorno urbano así como su relación con el ambiente a fin de no dañarlo.

Actualmente, industrias tales como la de manufactura, turismo, agricultura, medicina y el sector público, han implantado diferentes medidas para mitigar el daño al ambiente. Esto se ha logrado mediante la modificación de sus actividades con el fin de hacerlas amigables con el ambiente; ya sea desde rediseñar procesos completos hasta reformas administrativas para concretar políticas de sustentabilidad dentro de cada industria, así como la adopción de un

nuevo enfoque que considere al ambiente, los sistemas ecológicos y el bienestar de las personas tan importantes como el rendimiento económico.

En cuanto al sector de la construcción, surge un interés particular en el actuar proactivamente y cambiar rápidamente de las prácticas excesivas y perjudiciales hacia un esquema bajo el cual la ingeniería civil y la naturaleza trabajen sinérgicamente en lugar de antagónicamente, con fin de preservar y mejorar la calidad de vida en la Tierra.

1.3 La Ingeniería Civil y la Sustentabilidad

Sustentabilidad

La sustentabilidad surge como respuesta para hacer frente a la situación actual en que se encuentra inmerso nuestro planeta.

La sustentabilidad está definida como el “satisfacer las necesidades de la generación actual sin comprometer la calidad de vida de las generaciones futuras” (Fredman, 2007). Si bien es cierto que esta definición puede tener diferentes interpretaciones, el común denominador será el hecho de tener implícita una gran responsabilidad con las generaciones futuras. Además de tener un contenido ético el cual no solo involucra a las personas sino también a los seres vivos y no vivos con quienes compartimos este planeta, ya que cualquier alteración en alguno de estos sistemas, repercutirá de manera directa en los otros.

La práctica de la sustentabilidad nos da como resultado el desarrollo sustentable. Las actividades y/o proyectos realizados con ésta visión, se basan en un esquema llamado “*triple bottom-line reporting*” (Kilbert, 2009) que se refiere a un nuevo enfoque empresarial que va de los puros resultados económicos a un estándar más amplio que también incluye impactos ambientales y sociales (Figura 1.3).

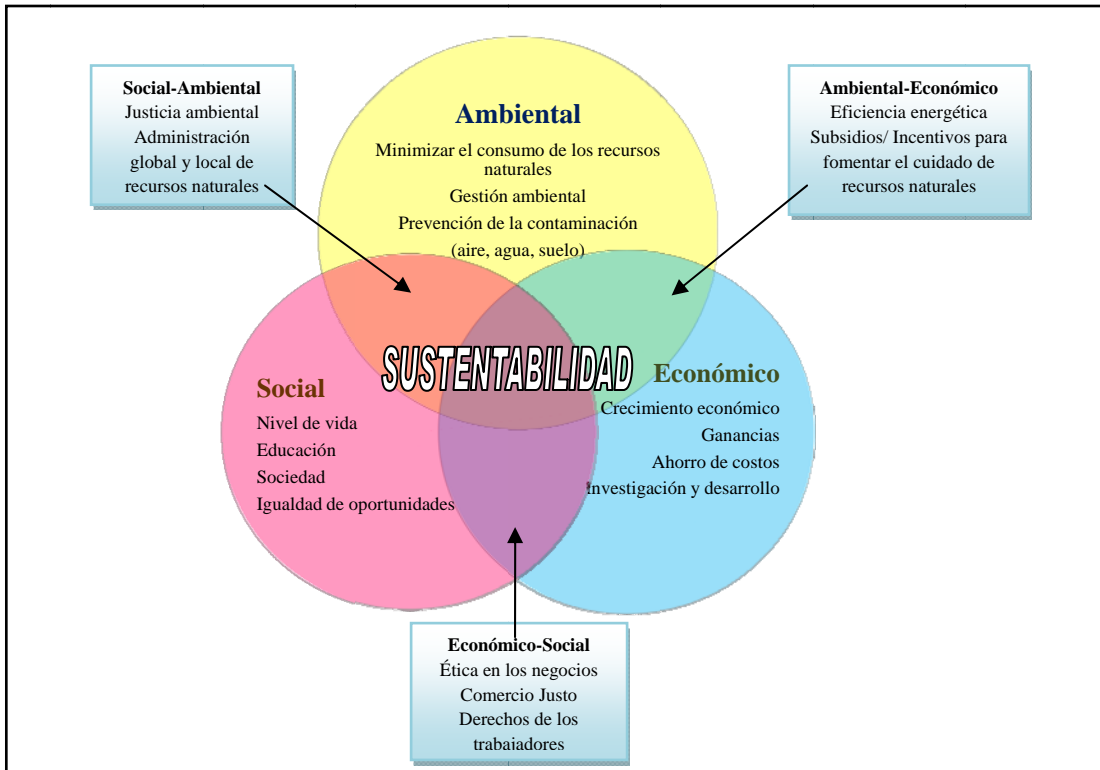


Figura 1.3 Las tres esferas de la sustentabilidad. Fuente: Basado en el artículo de *Sustainability at Vanderbilt University*, y modificado por la autora.

Construcción sustentable

Dentro del desarrollo sustentable, la ingeniería civil se encuentra presente en un subconjunto llamado construcción sustentable, que se refiere al papel del entorno urbano en una visión global de la sustentabilidad.

En noviembre de 1994, el Consejo Internacional de Edificación (*CIB* o *Conseil International du Bâtiment*), definió el objetivo de la construcción sustentable como "... la creación y operación de un ambiente urbano sano basado en el uso eficiente de los recursos y en principios ecológicos".

Con esto en mente, surge un movimiento que viene a hacer frente a los impactos en el ambiente y en los recursos naturales producidos por el ambiente construido. Movimiento que tiene como principal objetivo el unir fuerzas de carácter social, económico y ambiental dentro de la industria de la construcción con el fin de trabajar sinérgicamente entre ellas. En este trabajo nos referiremos a él como movimiento de construcción sustentable de alto rendimiento (*high-performance green building movement*).

Un edificio sustentable de alto rendimiento (*HPGB* o *high-performance green building*) es un edificio que está diseñado: (1) para ahorrar energía y recursos, reciclar materiales, y minimizar la emisión de sustancias tóxicas a lo largo de su ciclo de vida; (2) estar en armonía con el clima local, la cultura y el ambiente del entorno; (3) ser capaz de sostener y mejorar la calidad de la vida humana mientras mantiene los ecosistemas a niveles locales y globales; (4) trabajar de manera sinérgica con el ambiente, la sociedad y la economía.

La razón fundamental de la adopción de los edificios sustentables de alto desempeño, es que juntan las mejores características de los métodos convencionales de construcción con nuevos enfoques de alto rendimiento. Los alcances de un diseño sustentable van más allá del simple hecho de poner paneles solares en un edificio para ahorrar energía eléctrica.

He aquí algunas características del diseño sustentable.

1. Las técnicas de construcción sustentable proporcionan una respuesta ética y práctica a las cuestiones de impacto ambiental y de consumo de recursos. Los principios de la sustentabilidad abarcan el ciclo de vida del proyecto, desde la extracción de recursos hasta la disposición final de los materiales al término de su vida útil. El diseño de un *HPGB* se basa en el uso de fuentes renovables de energía para los sistemas eléctricos, en la reutilización y reciclaje de agua y materiales, la integración de especies nativas en la jardinería, sistemas de aire acondicionado, ventilación y calefacción pasivos, y otros enfoques que minimicen el impacto ambiental y el consumo de recursos.
2. Los *HPGB* prácticamente siempre son viables económicamente al analizar el costo de su ciclo de vida (*LCC* o *Life Cycle Costing*), aunque desde un punto de vista de costos iniciales puedan ser más caros. Los sistemas de ahorro de energía para iluminación y aire acondicionado costarán más que los convencionales. Los sistemas para capturar y almacenar agua pluvial para usos no potables requerirán equipo adicional como bombas, tuberías, sistemas de filtración y tanques de almacenamiento. Sin embargo, todos estos sistemas recuperarán su inversión inicial en un tiempo relativamente corto. Conforme los precios de agua y energía aumenten, debido a la creciente demanda y una disminución del suministro, el periodo de retorno de la inversión disminuirá. El *LCC* es un método que determina la verdadera ventaja económica de estas alternativas al evaluar su rendimiento en el curso de la vida útil de un proyecto.
3. El diseño sustentable reconoce el efecto del potencial de un edificio, en la salud de las personas que lo ocupan. Los métodos de construcción convencionales toman muy poca importancia al síndrome del edificio enfermo (*SBS* o *Sick Building Syndrome*), a las enfermedades relacionadas con el edificio (*BRI* o *Building Related Illness*) y a la sensibilidad química múltiple (*MCS* o *Multiple Chemical Sensitivities*). En cambio, los

edificios sustentables de alto rendimiento son diseñados para promover la salud de quienes lo ocupan, incluyendo medidas tales como especificar acabados que tengan de bajos a nulos componentes orgánicos volátiles con el fin de prevenir la liberación de gases químicos potencialmente peligrosos; uso de radiación ultravioleta para matar el moho y las bacterias en los sistemas de ventilación; y proteger los ductos durante su instalación para evitar que se contaminen.

Estas características aplican bajo un esquema que toma en cuenta los principios de la construcción sustentable, establecidos en 1994 por el *CIB*, los cuales son fundamentales en la toma de decisiones durante cada una de las fases del diseño, la construcción, hasta su deconstrucción (Tabla 1.1).

Tabla 1.1 Principios de la construcción sustentable
<ol style="list-style-type: none">1. Reducir el consumo de recursos2. Reutilizar los recursos3. Utilizar recursos reciclables4. Proteger la naturaleza5. Eliminar sustancias tóxicas6. Aplicar una evaluación económica del ciclo de vida7. Centrarse en la calidad
Fuente: Charles J. Kilbert, <i>Sustainable Construction</i> 2009

Además de aplicarse también a aquellos recursos necesarios para crear y operar el ambiente construido (suelo, materiales, agua energía y ecosistemas) en todo su ciclo de vida (Figura 1.4).

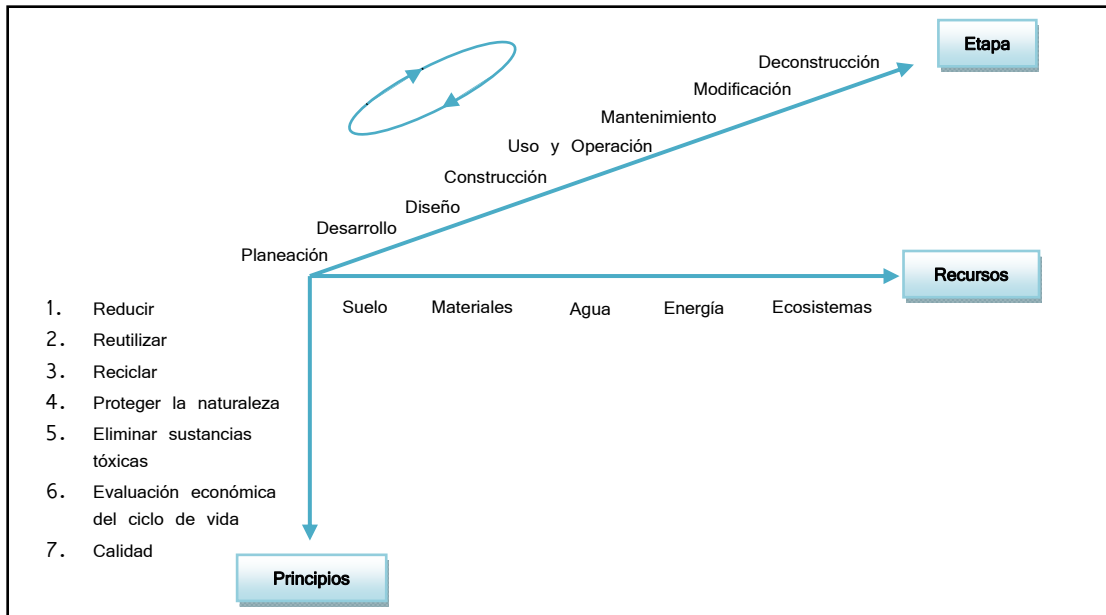


Figura 1.4 Esquema para la construcción sustentable desarrollado en 1994 por el CIB para demostrar la potencial contribución de los proyectos de edificación en el alcance de el desarrollo sustentable. Fuente: *C.J. Kilbert, Sustainable Construction, 2009*

En el esquema anterior se muestra la existencia de una relación interdisciplinaria entre los recursos del ambiente, los principios del desarrollo sustentable, y las etapas del proyecto. Lo cual garantiza el desarrollo sustentable de los proyectos.

De aquí que la aplicación de este esquema resulte en beneficios no solo ambientales, sino también sociales y económicos. Y lo que es más, un cambio en la perspectiva con que se ven los proyectos de ingeniería civil, de una industria que solo daña al ambiente a una en la que se vea el compromiso que como seres humanos tenemos con la naturaleza sin poner a un lado las cuestiones técnicas que involucran estos proyectos.

Sistemas de uso sustentable de recursos

Los recursos involucrados en un proyecto de construcción son los que vimos anteriormente en el esquema: suelo, materiales, agua, energía y ecosistemas. De ahí que sea necesario dar un panorama general de la sustentabilidad en su uso.

- Suelo

El uso sustentable del suelo se basa en el hecho de que el suelo fértil (*greenfields*) es un recurso finito y muy valioso cuyo uso para fines de construcción urbana debe de ser minimizado. Por otra parte la sustentabilidad promueve el reciclaje de suelos, como los usados anteriormente como zonas industriales (*brownfields*) o zonas urbanas deterioradas (*grayfields*).

- Materiales

En cuanto a la selección de materiales para la construcción. Hay dos puntos clave dentro de la sustentabilidad en los que hay que poner especial atención, el uso de materiales de ciclo cerrado (*closing materials loop*²) y la eliminación de emisiones líquidas, sólidas y gaseosas.

- Energía

La conservación de la energía se logra a través de la aplicación de tres enfoques: (1) implementar un diseño pasivo; (2) emplear fuentes de energía renovables; y (3) diseñar la envolvente del edificio para que sea resistente a la transferencia de calor conductivo, convectivo y radiactivo. Este diseño se refiere a usar el tamaño, la forma y orientación del edificio para condicionar la estructura usando las características naturales y climáticas tales como la insolación, la topografía, el microclima, los vientos y el paisaje.

- Agua

El agua es un recurso fundamental para el desarrollo de la sociedad. Además de ser no renovable y cada vez más escaso. Una vez contaminada el agua, es muy difícil de revertir el daño. De ahí el desarrollo de técnicas de conservación del agua que van desde la captación de agua pluvial, el tratamiento de aguas, el uso de bombas de bajo flujo hasta la implementación del *Xeriscaping*³.

² El *Closed loop* se refiere al proceso en el cual un material se mantiene en uso productivo mediante su reutilización y reciclaje en lugar de disponer de él como residuo una vez terminado el ciclo de vida del edificio. Debido a que el reciclaje conlleva un proceso termodinámico, los materiales que se dispongan para este proceso no deben de ser tóxicos para los sistemas biológicos.

³ Método de jardinería en el que se da prioridad a las plantas xerófilas, con el fin de disminuir la demanda de agua para riego.

- Ecosistemas

Uno de los objetivos de la construcción sustentable es que el ambiente construido y los sistemas trabajen de manera sinérgica. La integración del entorno urbano con el ecosistema puede jugar un papel importante en la selección de materiales. Trabajando sinérgicamente con el ecosistema del lugar en el que vamos a desarrollar nuestro proyecto, podemos mejorar la estética, tener un almacén natural de agua, en el caso de los humedales, y sobretodo preservar la naturaleza.

CAPÍTULO 2. PRINCIPIOS PARA LA INTEGRACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD EN LOS PROYECTOS DE INGENIERÍA

2.1 El Proceso de Construcción Sustentable

En la búsqueda de la sustentabilidad en los proyectos de ingeniería civil ha surgido un sistema que nos permite tener un edificio de alto desempeño en términos de sustentabilidad. El sistema que se usa en el desarrollo de proyectos sustentables es diferente al de los proyectos convencionales dado que busca: que los miembros de los equipos de trabajo involucrados en las diferentes etapas del proyecto tengan experiencia en construcción sustentable; mayor comunicación entre los equipos; mayor interés en el rendimiento de todo el edificio que en sus sistemas individuales; procurar la protección del ambiente y salud de los trabajadores y ocupantes a lo largo de las diferentes etapas del proyecto; análisis cuidadoso de cada decisión con respecto a las implicaciones del uso de recursos a lo largo del ciclo de vida del proyecto; y el énfasis en reducción de residuos de construcción y demolición.

En el presente capítulo se analiza el contraste entre los sistemas tradicionales y los de un edificio sustentable de alto rendimiento (*HPGB* o *high-performance green building*), poniendo particular énfasis el proceso del *charrette*⁴ como una herramienta muy valiosa dentro de los proyectos de construcción sustentable.

⁴ La palabra francesa “*charrette*” significa “carro” y se utiliza a menudo para describir el trabajo y esfuerzo final ejercido por los estudiantes de arte y arquitectura para cumplir con una fecha límite del proyecto. El uso de este término se dice originario de la *École des Beaux Arts* en París durante el siglo XIX, donde los profesores circulaban un carro o “*charrette*”, para recoger los proyectos finales mientras frenéticamente los estudiantes daban los toques finales a su trabajo.

2.1.1 Sistemas tradicionales vs Sistemas de edificación de alto rendimiento

Existen diferentes sistemas para la contratación de los servicios de firmas que se encargaran del desarrollo del proyecto, ya sea solo del diseño, o de la construcción y el diseño, entre otros.

La adopción de alguno de estos sistemas va a depender de los esquemas que se manejen en el país en que se realizará la obra, a continuación se analiza el caso de México y E.U.

En el caso de México, se manejan diferentes esquemas⁵:

1. Obra Pública: Estos contratos pueden ser (a) diseño y construcción y (b) licitación primero del diseño y posteriormente licitación de la construcción.
2. Proyectos concesionados: los contratos son (a) DBOT (diseño, construcción, operación y transferencia, (b) BOT (construcción, operación y transferencia), y (c) Compra de activos (infraestructura existente que se pone a venta y se recupera la inversión operándola).

En el caso de Estados Unidos existen tres sistemas:

1. *Design-Bid-Build o Hard Bid*, cuyo principal objetivo es buscar el menor costo, los equipos a cargo del proyecto son independientes entre sí (equipo de diseño, contratista, subcontratistas, proveedores).
2. *Construction Management at Risk o Negotiated Work*, donde el propietario contrata de forma independiente los servicios de una firma de construcción y los del equipo de diseño.
3. *Design-Build*, se trata de un sistema en donde una sola entidad se encarga del diseño y la construcción, lo que significa que el propietario y dicha entidad estarán en contacto para cualquier asunto relacionado con el proyecto.

El sistema de un *HPGB* es una variante del esquema de *Negotiated Work* pero con un perfeccionamiento en la parte de colaboración y comunicación entre los equipos de trabajo involucrados en el proyecto. En este sistema la base fundamental recae en una estrecha colaboración entre todas las partes responsables del proyecto, el/los propietario(s), arquitectos, ingenieros, constructores, profesionales de gestión de propiedad y bienes raíces, supervisores, operadores, economistas, y demás interesados, a un nivel de toma de decisiones. Es indispensable el conocimiento y compromiso de los miembros de este equipo con el concepto de construcción sustentable y sus implicaciones, y en caso de que el edificio

⁵ Arturo Moreno, "RE: Construction Delivery Systems", [en línea], 7 de mayo de 2010, Dirección URL: <arturo.moreno@ica.com.mx>, [consulta: 7 de mayo de 2010].

vaya a ser certificado, se necesita que estén capacitados en el dicho sistema de certificación. Así como la disponibilidad para trabajar en equipo, durante y fuera de las sesiones del *charrette*.

Uno de los objetivos clave del sistema *HPGB*, más allá de la concepción de un proyecto sustentable, es minimizar las relaciones adversas y mejorar la comunicación y colaboración entre las partes involucradas, además de tener la cualidad de transparencia a lo largo del proyecto.

El proceso del *charrette*

El *charrette* se refiere a cualquier sesión de colaboración en la cual un grupo de diseñadores de proyecto dan una solución a un problema de diseño. Si bien la estructura de un *charrette* varía, dependiendo del problema de diseño y de los integrantes del grupo, los *charrettes* usualmente se llevan a cabo en múltiples sesiones en las cuales el grupo se divide en subgrupos. Cada subgrupo presenta su trabajo a todo el equipo como material para un futuro diálogo. Estas sesiones sirven como un medio para generar rápidamente una solución de diseño al mismo tiempo que integran las aptitudes e intereses de un grupo diverso de profesionales.

El Instituto Nacional de Charrette (*NCI* o *National Charrette Institute*) declara que existen cuatro pasos básicos a seguir en un proceso *charrette*, los cuales son:

1. Inicio. Hablando en un contexto de un proyecto de construcción, el inicio de un *charrette* es muy simple. Implica determinar quiénes son las personas interesadas, involucrarlas en el proceso y establecer las metas para el *charrette*, determinando cuando y donde se llevarán a cabo el *charrette*, y notificar los detalles a los participantes.
2. Investigación, educación y conceptos. Antes de iniciar el *charrette*, el propietario, el facilitador del *charrette*, y los miembros del equipo de diseño deben discutir que información se necesitara para el *charrette*. Las instrucciones del propietario, los detalles del sitio, información acerca de los servicios públicos, y demás información pertinente debe ser reunida y preparada para el *charrette*. El lugar de reunión para el *charrette* debe ser apropiado en cuestiones de espacio y material apropiado para el mismo, como pizarrones blancos, rotafolios, un proyector, una pantalla de proyección, material de cómputo, etc.
3. El *charrette*. Generalmente, el *charrette* debe ser conducido por un facilitador especializado en el proceso de construcción sustentable. El proceso del *charrette* puede durar varios días y continuar en etapas hasta que sea completado. El primer paso se basará en un esfuerzo de instruir a todos los participantes en los requerimientos del

propietario y en el concepto de *high-performance green building*. El segundo paso será revisar los esquemas arquitectónicos previamente elaborados, la ubicación del edificio, la propuesta de presupuesto del proyecto, y el programa de obra. El tercer paso será exponer las metas del proyecto con respecto a sus aspectos de alto rendimiento. El propietario probablemente requiera que el edificio sea certificado a un cierto nivel, lo cual va a afectar muchas de las decisiones hechas durante el charrette. Una vez que estos pasos se hayan cumplido, y el equipo de proyecto y stakeholders entiendan el contexto del proyecto, el verdadero *charrette* comienza. El facilitador conducirá una sesión de lluvia de ideas para obtener información del grupo acerca de cada aspecto del proyecto, con un especial énfasis en la sustentabilidad del edificio. Durante el charrette, el grupo debe tener un cuadro de mando en marcha a fin de ver como las decisiones tomadas durante el proceso impactan la clasificación del edificio en términos de certificación. El aspecto económico de cada decisión también debe de tomarse en cuenta, y el gerente de construcción deberá asegurar la disponibilidad de la información necesaria para establecer un costo conceptual estimado a fin de entregárselo al propietario para su revisión.

4. Examinar, revisar y finalizar. Después de que el *charrette* se haya concluido, el equipo de diseño revisa los resultados con el propietario, hace los ajustes y cambios necesarios, y después elabora un reporte del charrette que guiará el proceso de diseño.

2.1.2 Ejecución del proyecto de construcción sustentable

Una vez lograda la programación y presupuestación del proyecto de construcción deseado por el propietario, se procede a su ejecución, que consta de las siguientes fases:

1. Seleccionar el equipo de proyecto, ya sea el equipo de diseño y el gerente de construcción, o la firma de diseño-construcción.
2. Establecer prioridades del proyecto de construcción sustentable por parte del propietario en colaboración con el equipo de proyecto.
3. Adoptar un Proceso de Diseño Integral⁶ (*IDP o Integrated Design Process*), dar a conocer al equipo de proyecto el concepto de IDP y cómo será implementado durante los procesos de diseño y construcción.
4. Dirigir un *charrette* con el fin de tener una aportación de ideas de una amplia variedad de personas involucradas en el proyecto, incluyendo el equipo de proyecto, el propietario y los usuarios, la comunidad y otros interesados.

⁶ El proceso de diseño integral o IDP es un proceso caracterizado por una interacción interdisciplinaria a fin de maximizar la sinergia en el diseño.

5. Inicio del proceso de desarrollo del diseño esquemático, esquemático avanzado, especificaciones técnicas, y documentación de las medidas de sustentabilidad para el proyecto en caso de que vaya a ser certificado, todo siguiendo un IDP.
6. Construcción del proyecto, que incluya integración de medidas sustentables referentes al suelo y control de la erosión, reducción al mínimo de la alteración del sitio, protección de flora y fauna, minimización y reciclado de residuos de la construcción, aseguramiento de la salud del edificio, y documentación de las medidas sustentables aplicadas en ésta etapa.
7. Puesta en marcha del proyecto y entrega al propietario.

2.1.3 El papel del propietario

La construcción de un edificio sustentable de alto rendimiento (*HPGB*) involucra aspectos que deben ser analizados por el propietario antes de la etapa de diseño, algunos ejemplos son:

- Certificación como *HPGB*. Deberá decidirse bajo qué método se quiere certificar el edificio, LEED, Green Globes, BREEAM, etc. de acuerdo al país en el que se construya el proyecto así como el enfoque que se le quiera darle. Más se tratarán los métodos de certificación.
- Nivel de certificación. Esto va a depender de cada método, y conforme a esta selección del nivel, los costos serán proporcionales. Entre más alto sea el nivel, mayor será la cantidad de equipos y costos que involucra. Para esto, los análisis de costos del ciclo de vida (*LCC o Life Cycle Costing*) le darán una idea más clara al propietario de lo que económicamente significa elevar el nivel de certificación.
- Edificio sustentable sin certificación. Se decidirá que lineamientos adoptará el equipo de proyecto. Seguirá las recomendaciones de alguno de los métodos de certificación existentes lo cuales cuentan con recomendaciones y criterios a aplicar el desarrollo de un edificio sustentable. En caso de que el propietario decida no seguir métodos de certificación, deberá comunicarle a su equipo de proyecto el criterio que deberán seguir en el proyecto.
- Preparación que se desea de los miembros del equipo de proyecto en el desarrollo de un *HPGB*. Es muy recomendable que tengan experiencia en el campo de la construcción sustentable y sólidos conocimientos del método a seguir en el proyecto. Por ejemplo, si uno de los puntos a evaluar es el contenido de material reciclado, el gerente de construcción deberá de ponerse en contacto con sus sub-contratistas para pedirles la

cantidad de materiales reciclados en los productos que están usando para después unir todos los datos y obtener la cantidad de material reciclado en toda la obra.

- Nivel de inversión adicional para el proyecto. Deberá analizarse cuánto se está dispuesto a sacrificar los costos iniciales del proyecto a cambio de la reducción de los costos de operación. Esto es porque, pese a que los edificios sustentables implican bajos costos operativos a lo largo de su ciclo de vida, también representan una inversión inicial mayor a cualquier otro edificio convencional. De ahí la importancia del *LCC* que brinda un análisis de costos vs beneficios anuales indicándole cual es el punto de equilibrio de su inversión, para que con base en esto, el propietario decida si este punto es satisfactorio y si el costo capital adicional está garantizado.

2.2 El Proceso de Diseño Integral (IDP)

El Proceso de Diseño Integral ha sido desarrollado con base en una experiencia obtenida de la demostración de un programa canadiense para edificios sustentables de alto rendimiento (*HPGB*), el programa C-2000. Este programa fue diseñado en 1993 como una demostración de niveles muy altos de rendimiento. Sus requisitos técnicos abarcaban aspectos como rendimiento energético, impactos ambientales, calidad del ambiente interior, funcionalidad y otros parámetros. Los objetivos tan ambiciosos de rendimiento de este programa llevaron a sus directivos a creer que los incrementos de costos para el diseño y la construcción serían sustanciales, y se tomaron medidas para poder solventar los costos incrementales en ambas etapas.

Sin embargo, después de que se diseñaron seis proyectos de los cuales dos fueron completados, se encontró que el incremento en costos fue menor al esperado, una parte debido al hecho de que los diseñadores usaron tecnologías menos sofisticadas y caras que las previstas. A pesar de estos cambios, los proyectos alcanzaron los niveles de desempeño requeridos. Todos los diseñadores coincidieron que la aplicación del proceso de diseño requerido para el programa C-2000 fue la principal razón por la cual los altos niveles de desempeño pudieron ser alcanzados. También parece que la mayoría de los beneficios obtenidos fueron logrados durante las primeras etapas del proceso de planeación y diseño.

El programa C-2000 es ahora llamado el Proceso de Diseño Integral (*IDP*), y las intervenciones en el proyecto ahora están enfocadas en proveer asesoramiento en las primeras fases de la planeación y diseño (Larson, 2004).

2.2.1 El proceso de diseño convencional

Con el fin de entender que es el *IDP*, es conveniente caracterizar primero el proceso de diseño convencional. El proceso generalmente comienza con el propietario y el arquitecto acordando un concepto del diseño, integrado por un esquema general, orientación y espacios para ventanas, puertas, de donde, usualmente, la apariencia exterior y los materiales básicos quedan determinados por estas características. Posteriormente se consulta con los ingenieros mecánicos y eléctricos cuáles serán los sistemas más apropiados para el diseño. Los ingenieros civiles y los arquitectos trabajan en el diseño del paisaje, estacionamientos, pavimentos e infraestructura basados en el concepto previamente acordado por el dueño. Y finalmente cada fase del diseño es llevada a cabo de la misma manera, con una mínima o nula colaboración interdisciplinaria.

Aunque muy simplificado, este es el proceso general que siguen la mayoría de las firmas de diseño, además de que generalmente limita el posible desempeño a niveles convencionales. El resultado del diseño tradicional es un proceso lineal y no colaborativo en el cual ningún objetivo está claramente establecido y el desempeño del edificio es prácticamente aleatorio y no optimizado. Cada disciplina trabaja como una entidad aislada, con relaciones interdisciplinarias al mínimo. Existe una limitada posibilidad de optimización durante el proceso tradicional, mientras que la optimización en etapas posteriores del proyecto es muy difícil.

Todos estos resultados posibles reflejan un proceso de diseño que parece ser rápido y simple, pero cuyos verdaderos resultados son altos costos de operación y un ambiente interior por debajo de los estándares; y estos factores a su vez pueden reducir en gran medida el alquiler a largo plazo o el valor de los activos de una propiedad. Dado que el proceso de diseño convencional generalmente no involucra simulaciones de la eficiencia energética prevista, la pobre eficiencia y los altos costos operativos resultantes son a menudo aspectos que sorprenden a los dueños, operadores y usuarios, ya que nunca esperaron tan bajo rendimiento de su proyecto.

Si los ingenieros y especialistas involucrados en este proceso son hábiles, ellos podrán sugerir un sistema avanzado de calefacción, ventilación y aire acondicionado (*HVAC o Heating, Ventilating and Air Conditioning*) de alto rendimiento, pero su implementación en una etapa tardía del proceso de diseño resultará en aumentos en el rendimiento marginal, combinado con considerables aumentos en los costos de capital. La causa fundamental es que la introducción de sistemas de alto rendimiento en las últimas etapas del diseño no puede superar las desventajas impuestas por decisiones iniciales incompatibles o de pobre diseño.

2.2.2 El proceso de diseño integral

El proceso de diseño integral (*IDP*) tiene impactos en el equipo de diseño que lo hace diferente del proceso de diseño convencional en diferentes aspectos. El cliente toma un papel más activo que de costumbre; el coordinador de proyecto pasa a ser el líder del equipo en lugar del que solo le da la forma al proyecto; y los ingenieros civiles, mecánicos y eléctricos toman papeles activos desde las primeras fases del diseño.

El *IDP* es un proceso de diseño en el cual múltiples disciplinas y aspectos de diseño aparentemente no relacionados entre sí, son integrados de tal forma que permita la obtención de beneficios sinérgicos. El objetivo de éste proceso es el de optimizar todo el proyecto de edificación. Los requisitos en cuanto a comunicación son intensos, sin parar, y en todas las etapas del proyecto, desde el diseño hasta la construcción, puesta en marcha, entrega al propietario, y análisis post-ocupación. Un proceso de diseño integral empieza desde el principio del proceso de diseño, con el equipo de trabajo estableciendo los objetivos para el proyecto y determinando las oportunidades para las sinergias en las cuales las soluciones de diseño tienen múltiples beneficios para el proyecto. El *IDP* está diseñado para permitir al cliente y demás personas involucradas desarrollar y entender claramente los objetivos definidos y desafiantes en cuestiones de funcionalidad, ambiente y economía, entre otros.

Este proceso usualmente incluye estrategias de diseño sustentable dentro del criterio convencional de diseño para la forma, funcionamiento, desempeño, y costo del edificio. La clave del éxito del *IDP* es la participación especialistas de diferentes campos: arquitectura general, diseño de interiores, sistemas *HVAC*, sistemas eléctricos y de iluminación, estructuras, hidráulica, ambiental, geotecnia, arquitectura del paisaje, economía, derecho, costos, por mencionar algunos. Al reunirse en un *charrette* y tratar puntos clave en el proceso de diseño, estos participantes a menudo pueden identificar soluciones muy atractivas a necesidades del diseño que de otra forma no se hubieran encontrado. En un enfoque de diseño integral, el ingeniero eléctrico, por ejemplo, calculará el consumo de energía y sus costos en una etapa temprana del diseño, informando a los diseñadores las implicaciones del consumo de energía con respecto a la orientación, configuración, ventanas y puertas, sistemas mecánicos, y opciones de iluminación.

El proceso de diseño integral no contiene elementos radicalmente nuevos, sin embargo, integra enfoques ampliamente eficientes dentro de un proceso sistemático total. Las habilidades y experiencia de ingenieros, consultores, arquitectos y demás personas a cargo del proyecto se aprovechan mucho mejor en las primeras etapas del proyecto, la planeación y el diseño.

Entre más temprana sea la etapa en la que se inicia el IDP, mayores serán los posibles ahorros y menor el costo de las modificaciones al diseño del edificio (Figura 2.1).

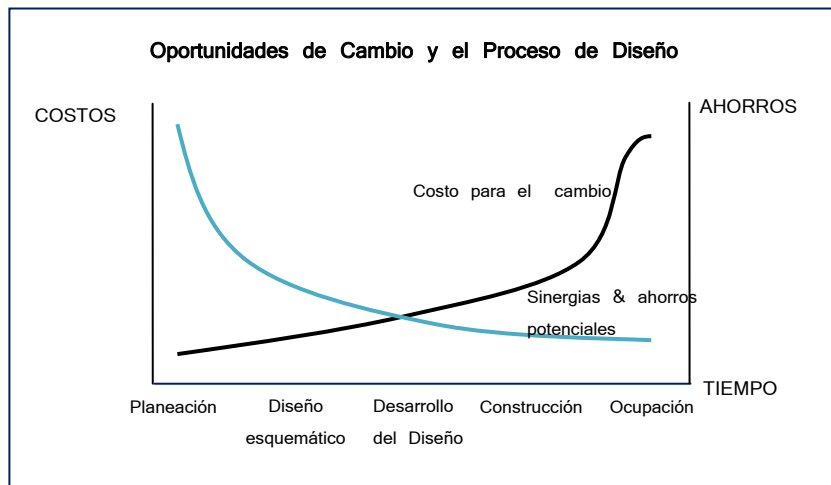


Figura 2.1 Oportunidades de cambio y el proceso de diseño. Fuente: *C.J. Kilbert, Sustainable Construction, 2009*

El IDP es un proceso colaborativo que se enfoca en la planeación, diseño, construcción, operación y ocupación de un edificio a través de todo su ciclo de vida, incluye desde estrategias del edificio como un todo, hasta llegar a niveles más específicos, a fin de realizar soluciones integrales óptimas.

Existen varias áreas potenciales para el proceso de diseño integral en cualquier -proyecto de construcción: la envolvente del edificio, el esquema de iluminación natural, techos verdes, calidad ambiental interior, el ciclo hidrológico del edificio, entre otras.

2.2.3 Elementos principales del IDP

Además de la definición de IDP, los principales elementos del IDP son:

- Trabajo interdisciplinario entre arquitectos, ingenieros, especialistas de costos, personal de operación, y otros encargados del proyecto desde el principio del proceso de diseño.
- Discusión de la importancia relativa a aspectos relacionados con el rendimiento y el establecimiento de un consenso entre el cliente y los diseñadores.
- La integración de un especialista en energía, para poner a prueba las diversas hipótesis de diseño mediante el uso de simulaciones durante todo el proceso, para proporcionar información objetiva en aspectos clave de rendimiento energético.
- La integración de especialistas (iluminación natural, aislamiento térmico, confort, marketing, selección de materiales, etc.) para consultas por parte del equipo de diseño.

- Una concisa explicación de los objetivos y estrategias de rendimiento que se actualizarán durante todo el proceso por el equipo de diseño.
- En algunos casos, se integra al equipo un orientador de diseño para incrementar el rendimiento a través del proceso y llevar los conocimientos especializados a la mesa.

2.2.4 Pasos de un IDP

1. El equipo de proyecto establece objetivos de desempeño relativos a una gran variedad de parámetros incluyendo; energía, agua, residuos, la función del paisaje, cuestiones de calentamiento puntual, calidad ambiental interior, y residuos de demolición y construcción, por nombrar algunos. A su vez, el equipo de proyecto desarrolla estrategias para lograr los objetivos. Deben involucrarse las habilidades de todos los miembros del equipo para lograr el diseño de un edificio óptimo, así como para orientar al propietario en la dirección correcta hacia una solución de diseño óptimo. Por ejemplo, los ingenieros mecánicos poseen mayores conocimientos en termodinámica que los arquitectos, de ahí que sean indispensables en el diseño de la envolvente del edificio.
2. El equipo debe minimizar las cargas para los sistemas HVAC y maximizar el potencial de la iluminación natural, mediante la orientación, la configuración del edificio, una envolvente eficiente, una cuidadosa evaluación de la cantidad, tipo y ubicación de ventanas, puertas, domos, etc. Debe haber un adecuado balance de cargas en los enchufes del edificio en función del uso futuro que se le va a dar, ya sea para computadoras, sistemas de audio, impresoras, etc. Es necesario minimizar las cargas mencionadas y seleccionar equipo cuyo consumo de energía sea el mínimo con el fin de alcanzar los niveles de rendimiento de un edificio sustentable de alto rendimiento. La amplia gama de aspectos de calidad del ambiente interior deben de ser tomados en cuenta, para incluir calidad del aire, ruido, calidad de la iluminación, temperatura y humedad, y olores, en la evaluación. El equipo debe colaborar también en aspectos del sitio a fin de maximizar el uso de sistemas naturales, minimizar los espacios a pavimentar, aprovechar los árboles para enfriamiento y calentamiento del edificio, e integrar sistemas de recolección de agua pluvial y de tratamiento de aguas residuales, así como diseñar el ciclo hidrológico del edificio.
3. El equipo debe buscar maximizar el uso de energías renovables al igual que el uso eficiente de sistemas HVAC, manteniendo los objetivos de desempeño para la calidad del ambiente interior, confort térmico, control del ruido, y calidad y niveles de iluminación.
4. El resultado del proceso deberá incluir alternativas de diseño, empleando simulaciones de energía, iluminación, entre otras, para su análisis y evaluación. Posteriormente se seleccionarán las opciones con mejor rendimiento para su futuro desarrollo.

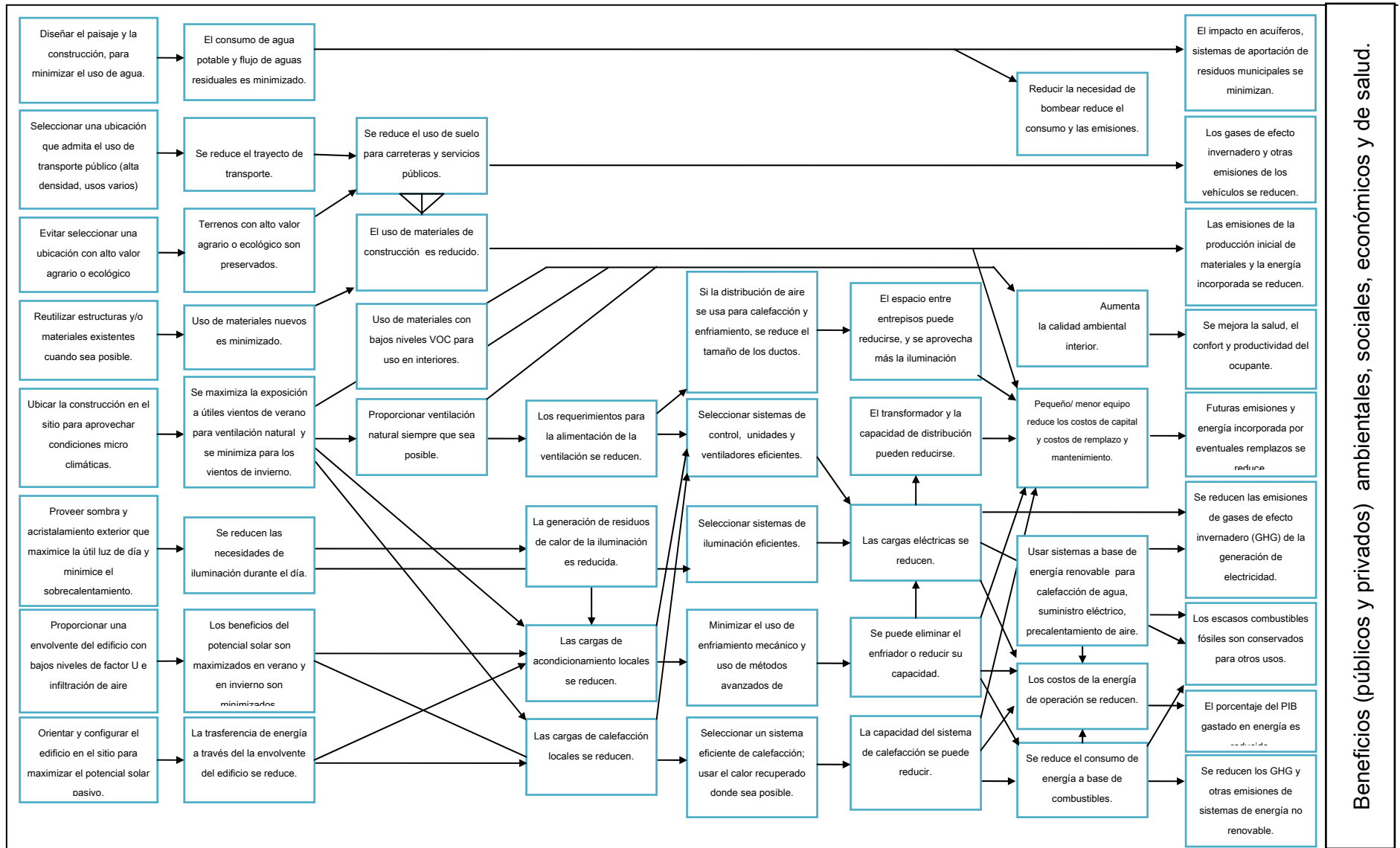
Los mayores beneficios ocurren cuando la decisión de implantar el IDP es hecha antes de empezar el proceso de diseño, de tal forma que el equipo de proyecto tenga la oportunidad de establecer objetivos clave que guíen el proceso de diseño. El resultado del IDP debe ser un completo entendimiento del potencial de las sinergias del diseño y su relación con los objetivos del proyecto para el diseño final del edificio. Lo que significa que el proyecto reducirá su consumo de recursos, su impacto ambiental y mantendrá al sitio de proyecto con un nivel máximo de potencial ecológico. La Figura 2.2 es un esquema que muestra cómo los objetivos del proyecto pueden integrarse al IDP para producir una gran variedad de beneficios, tanto para el proyecto como para el ambiente.

2.2.5 Etapas técnicas del IDP

A. Evaluar las condiciones del sitio

1. Evaluar la estabilidad del suelo y la capacidad de carga.
2. Evaluar la calidad ecológica del sitio.
3. Si es un terreno que fue usado como zona industrial, tomar medidas para remediar las condiciones.
4. Analizar el suelo con respecto a la presencia de posibles contaminantes radioactivos.
5. Identificar características en terrenos adyacentes que puedan limitar el diseño del edificio en cuestión.
6. Evaluar la compatibilidad de estructuras existentes en el sitio que puedan ser adaptadas al nuevo uso que se le dará al sitio.
7. Identificar el área de la estructura existente en el sitio que pueda ser parcialmente o totalmente reutilizada.
8. Evaluar la conveniencia de reutilizar materiales y componentes de la estructura existente en el sitio en el nuevo edificio planeado para el sitio.
9. Preparar un *Informe de Condiciones del Sitio*.

Figura 2.2 El IDP ayuda a lograr las sinergias en el diseño al estimular la colaboración interdisciplinaria que resulta en estrategias sustentables enlistadas en la primera columna de la izquierda de este proyecto ejemplo, las cuales se traducen en beneficios para el dueño del edificio y sus ocupantes al igual que para el ambiente global. Fuente *C.J. Kilbert, Sustainable Construction 2009*.



- B. Examinar el Programa, establecer los objetivos y estrategias de rendimiento
 - 1. Determinar si los espacios requeridos pueden satisfacerse por medio de la renovación del lugar, en vez de una nueva construcción.
 - 2. Considerar el posible impacto de la ubicación del proyecto en los requerimientos de transporte de materiales.
 - 3. Evaluar la capacidad del programa en curso para soportar usos diversos y operaciones sustentables.
 - 4. Confirmar el compromiso del cliente para apoyar las medidas que se requieran para asegurar un alto rendimiento.
 - 5. Desarrollar una declaración inicial de los objetivos de rendimiento, metas y estrategias que los respalden.
 - 6. Asegurar que el programa es capaz de soportar un alto rendimiento.
 - 7. Revisar las cuestiones de presupuesto y periodo de retorno de la inversión para hacerlos compatibles con los objetivos de desempeño.
 - 8. Preparar un *Programa de Funcionalidad y un Informe de Objetivos de Desempeño*.

- C. Reunir al equipo de diseño
 - 1. Asegurarse que el equipo de diseño propuesto está consciente de que el proyecto tiene objetivos de alto rendimiento.
 - 2. Identificar y mantener a los miembros del equipo de diseño con habilidades y experiencia relacionada con el programa.
 - 3. Si el presupuesto lo permite, incluir bonos de alto rendimiento en los contratos de los diseñadores principales.

- D. Trabajar en un taller de diseño
 - 1. Desarrollar dibujos esquemáticos para tenerlos como línea de referencia.
 - 2. Realizar simulaciones de energía para el edificio en cuestión.
 - 3. Invitar y reunir a los participantes del taller de diseño, incluyendo al cliente, equipo de diseño y especialistas.
 - 4. En el taller, presentar las simulaciones de energía para proveer un punto de inicio para el debate.
 - 5. Desarrollar dos o tres opciones esquemáticas que puedan mejorar el rendimiento del diseño analizado.
 - 6. Entablar un debate abierto del rendimiento, costo y otras implicaciones.
 - 7. Continuar con un desarrollo más detallado de la opción más atractiva después del taller, incluyendo simulaciones de energía preliminares y estimaciones de costos.
 - 8. Incorporar talento nuevo en caso de ser necesario.

9. Resumir los resultados del taller en un *Informe de Taller de Diseño*, y distribuirlo a todos los responsables del proyecto.
- E. Considerar los aspectos de desarrollo del sitio
1. Minimizar el impacto del edificio en el sitio.
 2. Minimizar la pérdida del potencial solar y de viento, de iluminación natural y otros aspectos.
 3. Considerar medidas para minimizar el impacto en la ecología del subsuelo y acuíferos.
 4. Desarrollar planes preliminares del paisaje para proporcionar protección contra el viento, sombra, y para minimizar la demanda de agua.
 5. Asegurar que el edificio constituirá una contribución positiva al paisaje urbano.
 6. Realizar una evaluación de impacto ambiental.
 7. Resumir los aspectos de desarrollo del sitio en un *Plan de Impacto del Sitio de Proyecto*.
- F. Crear el concepto del diseño
1. Ultime detalles de los objetivos de rendimiento.
 2. Desarrollar un plan conceptual, usando los requerimientos de funcionalidad como punto de inicio.
 3. Orientar el edificio para optimizar el potencial pasivo de la luz solar, y relacionar la colocación de ventanas, puertas y demás espacios libres con las características de la orientación.
 4. Establecer la configuración y espesor de losas de entrepiso para balancear la luz solar y el potencial térmico del edificio.
 5. Considerar el papel de los sistemas de ventilación mecánicos, híbridos o naturales.
 6. Considerar si es necesaria la implantación de sistemas de enfriamiento.
 7. Analizar el potencial de los sistemas de energía renovable.
 8. Evaluar las formas más eficientes de sistemas HVAC no renovables.
 9. Determinar distancia entre losas de entrepiso, tomando en cuenta posibles usos futuros.
 10. Realizar un primer juego de simulaciones detalladas de energía o análisis de energía.
 11. Preparar el *Informe de Concepto del Diseño*.

G. Seleccionar la estructura del edificio

1. Considerar la separación entre columnas y la posición del centro de carga del edificio.
2. Tomar en cuenta medidas para reducir la energía incorporada de la estructura.
3. Analizar opciones de almacenamiento térmico usando la estructura como un disipador de calor.
4. En usos residenciales, enfocarse en el diseño de balcones.
5. Realizar el diseño final de la estructura del edificio tomando en cuenta las consideraciones anteriormente mencionadas.

H. Elaborar el diseño de la envolvente del edificio

1. Seleccionar sistemas básicos de muros exteriores.
2. Asignar la posición de ventanas, puertas y demás espacios libres en función de la orientación del edificio a fin de optimizar los beneficios térmicos y de iluminación natural.
3. Optimizar el rendimiento térmico y potencial solar de ventanas, puertas, etc.
4. Considerar el uso de ventanas operables, en lugar de ventanas fijas.
5. Enfocarse en medidas que reduzcan la energía incorporada en la envolvente del edificio.
6. Optimizar los detalles de la envolvente y del rendimiento térmico.
7. Realizar un segundo juego de simulaciones detalladas de energía.

I. Desarrollar diseños preliminares de sistemas de iluminación y energía.

1. Elaborar el diseño preliminar del sistema de iluminación.
2. Elaborar el diseño preliminar del sistema de control.
3. Calcular los requerimientos de energía para los futuros inquilinos y equipo eléctrico a instalar.
4. Optimizar la eficiencia energética de los sistemas de elevadores.
5. Desarrollar estrategias para satisfacer la demanda máxima.
6. Resumir aspectos de iluminación para el *Plan de Desempeño de Productividad y Confort*.

J. Elaborar diseños preliminares de los sistemas HVAC

1. Desarrollar el diseño preliminar del sistema de ventilación.
2. Desarrollar el diseño preliminar para la planta de calefacción central.
3. Desarrollar el diseño preliminar para la planta central de aire acondicionado.
4. Considerar opciones de almacenamiento de calor usando sistemas mecánicos.
5. Elaborar el diseño preliminar para los sistemas de entrega HVAC.

6. Elaborar sistemas de control HVAC preliminares.
7. Concluir las simulaciones de energía evaluando el desempeño del diseño de todo el edificio.
7. Resumir cuestiones de HVAC para el *Plan de Desempeño de Productividad y Confort*.
8. Preparar el *Informe de Desarrollo del Diseño*.

K. Seleccionar materiales

1. Minimizar el uso de materiales o componentes que dependen de recursos materiales escasos.
2. Seleccionar materiales que tengan un balance entre durabilidad y baja energía incorporada.
3. Tomar en cuenta la reutilización de componentes y el uso de materiales reciclables.
4. Diseñar los ensamblajes y sus conexiones para facilitar su desmontaje en un futuro.
5. Seleccionar materiales para acabados interiores que minimicen los componentes orgánicos volátiles y otras emisiones.

L. Concluir el diseño y la documentación

1. Terminar el plan de desarrollo del sitio enfocándose en minimizar el consumo de agua potable.
2. Diseñar los sistemas sanitarios y de plomería para minimizar el consumo de agua.
3. Promover la reutilización de aguas grises.
4. Diseñar los sistemas de captación y aprovechamiento de agua pluvial.
5. Diseñar los sistemas de tratamiento de agua residual en el sitio.
6. Finalizar los detalles de la envolvente en términos de un adecuado análisis de igualdades de presión en la implementación de sistemas de protección contra la lluvia.
7. Completar el diseño del sistema de iluminación.
8. Terminar los diseños de los sistemas HVAC.
9. Confirmar que existe un espacio adecuado para los sistemas comunicación y de datos.
10. Seleccionar sistemas de control para la administración energética del edificio.
11. Revisar el uso de materiales a fin de minimizar los residuos.
12. Realizar un set final de simulaciones de energía.
13. Preparar un *Plan final de Adaptabilidad y Longevidad*.
14. Preparar un *Informe del Costo del Ciclo de Vida (LCC)*.
15. Preparar un *Plan final de Productividad y Confort del Usuario*.

- M. Desarrollar estrategias para garantizar la calidad en la construcción
1. Crear un plan para minimizar residuos de construcción y demolición durante la construcción.
 2. Elaborar un *Plan de Gestión del Impacto Final en el Sitio*.
 3. Elaborar un *Plan de Control de Calidad Final*.
 4. Desarrollar un *Plan de Puesta en Marcha* para los sistemas más importantes.
 5. Preparar el *Informe de Pre-Construcción*.
- N. Desarrollar estrategias de control de calidad para la operación.
1. Designar un representante del dueño en la puesta en marcha.
 2. Elaborar un *Plan de Operación y Mantenimiento*.
 3. Elaborar un *Plan de Gestión del Impacto Ambiental Final*.
 4. Crear instrumentos de arrendamiento con incentivos para los inquilinos para operar eficientemente el espacio.
 5. Capacitar al personal del edificio para operar el equipo eficientemente.
 6. Preparar un *Informe de Terminación de Proyecto*.
- O. Seguimiento
1. El Dueño/Operador proporcionarán informes en cuestiones de operación, mantenimiento y cuentas por servicios públicos.
 2. Realizar un estudio de *Evaluación Post-Ocupación*.

2.3 Certificación de Edificios Sustentables

Antes de 1990, el concepto de sustentabilidad, nuevo en la industria de la construcción, era un tanto ambiguo, ya que dependía del enfoque que cada arquitecto o ingeniero le diera según su propio punto de vista, tomando en cuenta que un edificio sustentable tenía que ser altamente eficiente en términos del uso de recursos, así como amigable con el ambiente.

Fue hasta 1990 que el gobierno británico lanzó el primer sistema, a nivel mundial, de certificación de edificios sustentables que identifica criterios que especifican no solo si un edificio es sustentable, sino que nivel de sustentabilidad tiene, esta normatividad es el BREEAM (*BRE Environmental Assessment Method*⁷). En 1998, el Consejo de edificación sustentable de E.U. (*USGBC* o *U.S Green Building Council*) creó su propio sistema de evaluación llamado LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*⁸) cuya

⁷ BREEAM: Método de evaluación ambiental BRE.

⁸ LEED: Liderazgo en diseño energético y ambiental.

certificación se basa en puntaje en función del cumplimiento de criterios específicos en diversas categorías enfocadas en la sustentabilidad del edificio, ésta certificación tiene cuatro niveles: Platino, Oro, Plata o Certificado. El CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*⁹) creado en el 2001 por el Consejo de edificación sustentable de Japón (*JaGBC o Japan Green Building Council*) equivale a la certificación LEED Platino, la principal diferencia con el sistema LEED es que la certificación CASBEE empieza en el pre-diseño y termina con visitas al sitio después de que el edificio es terminado, en cambio la certificación LEED evalúa solo el diseño y la construcción. Australia por su parte desarrolló su sistema de certificación, Green Star en el 2003, a cargo del Consejo de edificación sustentable de Australia (*AGBC o Australian Green Building Council*), el cual ha sido ampliamente implantado en el diseño y construcción de edificios comerciales. En el 2005 en México nace el Consejo Mexicano de la Edificación Sustentable, miembro oficial del Consejo mundial de edificación sustentable (*WGBC o World Green Building Council*).

Actualmente, solo nueve de cincuenta y nueve países miembros del *WGBC* han desarrollado su propio sistema de evaluación que satisfacen las necesidades locales de cada país. Por otra parte, los miembros del *WGBC* que aún no tienen su propio sistema pueden usar cualquier sistema de evaluación que hayan desarrollado los países antes mencionados, lo cual confirma la postura del *WGBC* de no fomentar el uso de ningún sistema o metodología como un estándar mundial.

Los sistemas de evaluación de edificios califican o clasifican los efectos del diseño, construcción y operación de un edificio en función de sus impactos ambientales, consumo de recursos, y la salud de los ocupantes. Debido a que cada variable tiene diferentes unidades de medición y diferentes escalas físicas, el obtener una resolución final es complicado. Los impactos ambientales pueden ser evaluados en escalas locales, regionales, nacionales y globales. El consumo de recursos es medido en términos de masa, energía, volumen, partes por millón, densidad y área. La salud del edificio se puede inferir por la presencia o ausencia de sustancias químicas y biológicas en el aire que circula dentro del edificio, al igual que por la salud relativa y bienestar de sus ocupantes.

En general, los sistemas de evaluación de edificios son creados con el propósito de promover los edificios sustentables de alto rendimiento; y algunos, como el LEED, son diseñados específicamente para incrementar la demanda del mercado en la construcción sustentable. Estos sistemas de certificación proporcionan una placa o etiqueta indicando el nivel de certificación del edificio y mostrando una declaración pública de su rendimiento.

⁹ CASBEE: Sistema de evaluación exhaustiva para la eficiencia ambiental de las edificaciones.

Una certificación superior en un edificio crea un valor más alto de mercado debido a los bajos costos operativos para el dueño además de un ambiente interior saludable.

Una de las dificultades al diseñar un sistema de certificación es el uso de un solo número para describir el desempeño de todo el edificio o de una serie de números para el mismo propósito. El hecho de usar un solo número tiene la ventaja de que es más fácil de entender, sin embargo esto implica que el sistema debe de alguna manera convertir las diferentes unidades que describen los impactos del edificio en los recursos y en el ambiente (uso de agua, consumo de energía, daño en el terreno, materiales y cantidades de residuos) y las condiciones producto del diseño del edificio (salud del edificio, sistemas de reciclaje incorporados, deconstructibilidad, porcentaje de recursos locales usados) en una serie de números que puedan ser sumados para dar un total general. Paradójicamente, tanto la ventaja como desventaja de evaluar con un solo número recae en su simplicidad.

2.3.1 LEED

La certificación LEED es el reconocimiento por parte del USGBC que hace referencia a los logros sustentables de ciertos proyectos de construcción para promover ambientes más saludables, productivos y eficientes. Este sistema provee un solo número que determina la evaluación del edificio basado en la acumulación de puntos en varias categorías de impacto, las cuales son sumadas para obtener el resultado final para la certificación.

Aunque nos referimos al sistema LEED en singular, no está constituido por un solo sistema de evaluación, si no por una gama de sistemas de evaluación de edificios. El estándar más reciente del *USGBC* es conocido como LEED-NC aplicado para construcciones nuevas (*NC o New Construction*) 2009. Además del LEED-NC 2009 existen otros sistemas de evaluación:

- LEED-EB: Edificios Existentes (operación y mantenimiento)
- LEED-CI: Proyectos de Interiores Comerciales
- LEED-CS: Proyectos *Core and Shell*
- LEED-H : Casas Habitación
- LEED-ND: Complejos Habitacionales
- LEED para escuelas
- LEED para centros comerciales

Como se mencionó anteriormente, LEED-NC 2009 es el estándar más reciente de USGCB para edificios nuevos institucionales y comerciales y renovaciones mayores. Está estructurado con ocho prerrequisitos y un máximo de 110 puntos divididos en seis categorías principales (Tabla 2.1).






El número de puntos disponibles en cada categoría fueron establecidos por los diseñadores de LEED-NC para indicar el peso que tienen en las diferentes cuestiones involucradas en éste estándar. El resultado final del LEED-NC resulta en una clasificación (Tabla 2.2).

Tabla 2.1 Categorías de LEED-NC 2009

Categoría		Puntaje Máximo
	Sitios Sustentables	26
	Uso Eficiente del Agua	10
	Energía y Atmosfera	35
	Materiales y Recursos	14
	Calidad Ambiental Interior	15
	Innovación y Proceso de Diseño	6
	Créditos de Prioridades Regionales	4
PUNTOS TOTALES POSIBLES		110

Fuente: Sitio web *U.S Green Building Council*

Tabla 2.2 Niveles de certificación de LEED-NC 2009

Categoría		Puntaje Máximo
	Platino	+ 80
	Oro	60-79
	Plata	50-59
	Certificado	40-49
	No Clasificado	≤ 39

Fuente: Sitio web *U.S Green Building Council*

2.3.2 BREEAM

La certificación BREEAM es el primer sistema de evaluación para edificios sustentables. Fue desarrollado por el Centro de Investigación Británico (*BRE o British Research Establishment*) en 1990 con el fin de transformar la construcción de edificios de oficinas en estándares de alto rendimiento. Este sistema se ha adoptado en Canadá y en varios países de Europa y Asia.

El tipo de certificación BREEAM que un edificio puede tener va a depender del tipo de edificación de la que se trate como sería:

- BREEAM para edificios de gobierno
- BREEAM Eco-Homes
- BREEAM para asistencia sanitaria
- BREEAM Industrial
- BREEAM Multi-residencial
- BREEAM Prisiones
- BREEAM Oficinas
- BREEAM Centros Comerciales
- BREEAM Centros Educativos
- BREEAM Remodelación Domestica
- BREEAM Otras edificaciones (laboratorios, hoteles, etc.)

Los aspectos del edificio a evaluar por este sistema son:

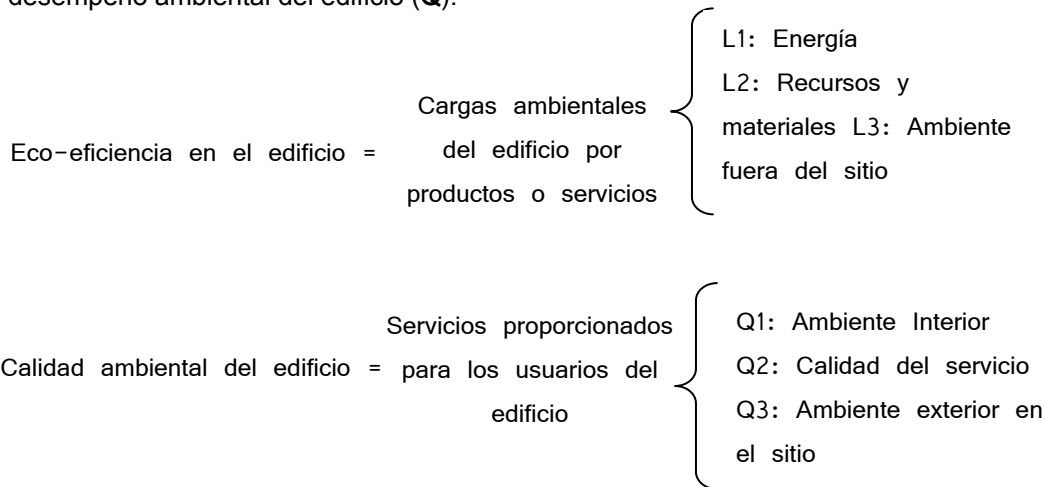
- Administración. Políticas generales de gestión, puesta en marcha en el sitio, cuestiones de procedimientos.
- Uso de energía. Aspectos operativos del uso de energía y emisiones de dióxido de carbono (CO₂).
- Salud y Bienestar. Cuestiones internas y externas que afectan la salud y el bienestar.
- Contaminación. Aspectos de contaminación del agua y aire.
- Transporte. Relación del transporte con el CO₂ y factores relacionados con la ubicación.
- Uso de suelo. Sitios *greenfield* y *brownfield*
- Ecología. Conservación del valor ecológico y mejoramiento del sitio.
- Materiales. Implicación ambiental de los materiales de construcción, incluyendo los impactos de su ciclo de vida.
- Agua. Eficiencia y consumo del agua.

Los créditos son asignados a cada área de acuerdo a su desempeño, estos a su vez son ponderados para poder ser analizados conjuntamente y dar una calificación final. El edificio es certificado en una escala de Aprobado, Bien, Muy Bien y Excelente.

2.3.3 CASBEE

En el 2001, Japón desarrolló un sistema de evaluación de edificaciones mediante un proyecto conjunto entre académicos, gobierno e industria, CASBEE. Esta certificación fue diseñada especialmente para las condiciones culturales, sociales y políticas de ese país. Este sistema puede ser aplicado a diferentes etapas del proyecto: planeación, diseño, terminación, operación y renovación.

El concepto clave de CASBEE es la eficiencia ambiental del edificio, expresada con las siglas **BEE**, valor que busca describir la eco-eficiencia¹⁰ (**L**) del mismo en función de la calidad y desempeño ambiental del edificio (**Q**).



Para este sistema, el valor BEE está dado por la siguiente relación.

$$BEE = \frac{Q \text{ (Calidad y desempeño ambiental del edificio)}}{L \text{ (Cargas ambientales del edificio)}}$$

¹⁰ De acuerdo al *WGBC* la eco-eficiencia se define como maximizar el valor económico al mismo tiempo que se minimizan los impactos ambientales. Eco-eficiencia= Cargas ambientales por productos o servicios

Los valores de BEE son representados en una grafica donde Q corresponde al eje de las ordenadas y L al de las abscisas. El valor final de la evaluación esta expresado como la pendiente de la línea que pasa por el origen (0,0) y el punto BEE. Es decir que entre mayor sea el valor de Q y menor el de L, más pronunciada será la pendiente de la línea y mayor será el nivel de sustentabilidad del edificio (Figura. 2.3).

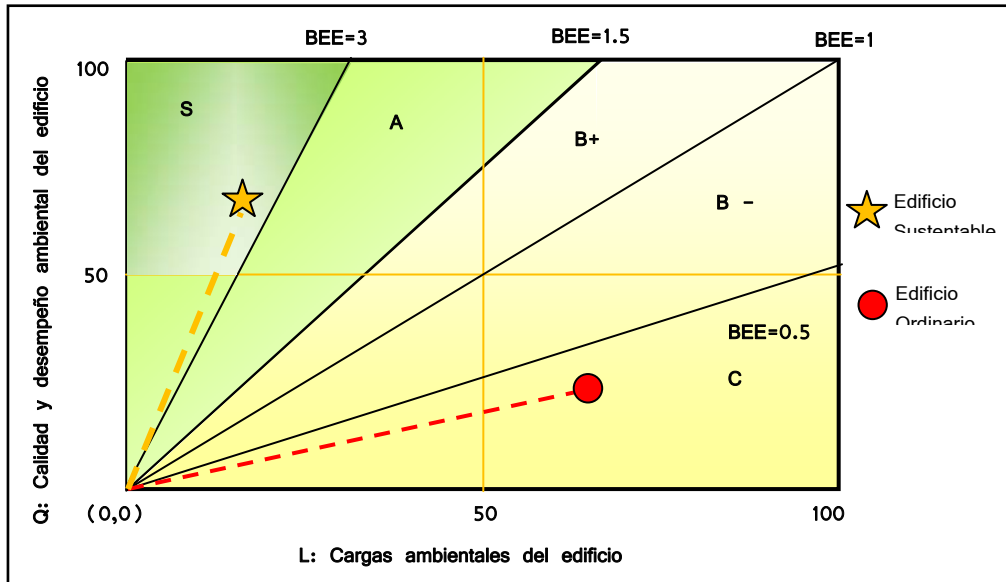


Figura 2.3 Nivel de sustentabilidad de un edificio bajo el sistema CASBEE. Fuente: Sitio web *Institute for Building Environment and Energy Conservation*

2.3.4 GREEN STAR

Green Star es un sistema desarrollado para el mercado de construcción australiano, cuyos productos iniciales se enfocaron en edificios de oficinas. Este sistema ha diseñado herramientas para evaluar la sustentabilidad en ciertas etapas del ciclo de vida de un edificio (diseño, construcción, interiores y operación) para diferentes clases de edificios (oficina, centros comerciales, industria, residenciales, etc.)

Green Star cubre nueve categorías que evalúan el impacto ambiental, consecuencia directa de la selección del sitio, diseño, construcción y mantenimiento de un proyecto. Las categorías incluidas dentro de las herramientas de evaluación son: administración, calidad ambiental interior, energía, transporte, agua, materiales, uso de suelo y ecología, emisiones e innovación.

Estas categorías están divididas en créditos, cada uno de los cuales se dirige a una iniciativa que mejora o tiene el potencial de mejorar el desempeño ambiental. Se designa un cierto

número de puntos a cada crédito en función de la implementación de acciones que cumplan con los objetivos de Green Star.

Una vez que se han asignado los créditos a cada categoría, se calcula un porcentaje de puntuación para posteriormente ponderarlos con factores ambientales establecidos por Green Star. Estos factores ambientales varían entre estados y territorios para reflejar los diferentes aspectos ambientales a lo largo de Australia.

El rango de puntos y nivel de certificación de las edificaciones bajo el criterio de Green Star se muestra en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Niveles de certificación de GREEN STAR			
Categoría			Puntaje Máximo
6 estrellas		Liderazgo Mundial	75-100
5 estrellas		Excelencia Australiana	60-74
4 estrellas		Mejores Prácticas	45-59

Fuente: Basado en el sitio web *Green Building Council Australia, Green Star*

CAPÍTULO 3. CRITERIOS DE SUSTENTABILIDAD EN EL USO DE ENERGÍA

La creación de un bajo consumo energético en el diseño de un edificio sustentable de alto rendimiento (*HPGB* o *high-performance green building*) es uno de los retos más importantes para el equipo de proyecto. De acuerdo a la revista CNN Expansión, “en México, el 40% del consumo de energía del país corresponde al sector relacionado con los edificios” (Calvo, 2008).

Los costos de consumo energético en un edificio a lo largo de su vida útil están en función del diseño de los sistemas eléctricos. Uno de los objetivos de un *HPGB* es lograr una disminución considerable en los costos operativos comparados con los de un edificio tradicional.

“El mundo empieza a enfrentar el famoso punto de quiebre en la producción de petróleo, en el cual la tasa de extracción decrece notablemente, demandando una cantidad mayor de energía y de fuentes de inversión para seguir explotando los yacimientos restantes, lo cual resultará en un aumento en el precio del petróleo debido a que la producción no podrá satisfacer las crecientes demandas. Con esto, los costos por consumo de energía empezarán a incrementarse drásticamente como resultado del aumento en la demanda internacional” (Australian Energy News, 2001). Por tal motivo, actualmente, las economías mundiales están en busca de fuentes de energía renovables que les permitan independizarse de los combustibles fósiles.

Este cambio implica empezar a tomar decisiones inteligentes y conscientes con respecto a la forma en que vivimos y construimos, lo cual significa no solo un compromiso para disminuir, en un cierto porcentaje, la cantidad de energía que utilizamos, sino, un cambio total en la forma en que concebimos el diseño de un edificio. Empezando por el hecho de que un edificio debe ser autosuficiente energéticamente, o en su mejor caso, exportador de energía. Esto se logrará mediante la aplicación de nuevas y mejoradas tecnologías en el uso de energías renovables, sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (*HVAC* o *Heating,*

Ventilating and Air Conditioning), aprovechamiento de las condiciones del sitio, y otras más que permitan a los edificios generar tanta energía como la que consumen, o al menos disminuir en gran medida sus cargas por consumo energético.

Un edificio sustentable debe de tener un consumo energético bajo, usando energías renovables como fuente principal de energía para los sistemas HVAC, que son los sistemas que consumen más energía eléctrica en el edificio.

Los edificios sustentables están experimentando un gran progreso como resultado de las nuevas tecnologías que empiezan a cambiar la manera en que tradicionalmente eran concebidos los edificios. (Figura 3.1). El uso de estas tecnologías lleva, en el caso de los sistemas HVAC, a una reducción en el tamaño de la planta de energía, y por ende, en los costos del edificio, generando un resultado perfecto, dado que tanto los costos de operación como los del proyecto pueden ser más bajos que aquellos de un edificio tradicional. El análisis de costos del ciclo de vida del edificio será un elemento clave que dará a los diseñadores la libertad creativa de optimizar el consumo energético de un edificio.



Figura 3.1 Diseño de la remodelación de la Casa York (edificio de oficinas). Fuente: Sitio web *Sheppard Robson Architects*

La firma londinense Sheppard Robson ha diseñado la remodelación de la Casa York. Este edificio, innovador arquitectónicamente, a través de un efecto de arcoíris cambiante a lo largo del día en la fachada, se ha colocado como uno de los mejores *HPGB* de acuerdo al estándar británico BREEAM por su excelente rendimiento energético. La fachada dispuesta en capas ayuda a controlar la temperatura creando una capa de amortiguamiento entre el ambiente exterior e interior del edificio. Además, el aire atrapado entre ambas capas es recolectado para producir energía.

3.1 Estrategias para un Diseño de Alto Rendimiento Energético

El diseño de alto rendimiento energético de un edificio es una tarea compleja compuesta por diferentes elementos, los cuales constituyen un proceso iterativo e integral, más que una simple secuencia de cosas por hacer. Dicho proceso empezará con el diseño pasivo, para pasar después a la reducción de cargas y diseño de los sistemas eléctricos que constituyen el edificio, desde sistemas HVAC, de iluminación, hasta controladores digitales, así como la aplicación de energías renovables y sistemas de ahorro de energía.

Algunos de los aspectos más importantes a considerar dentro de éste diseño son los siguientes:

- Utilizar software de simulación (*p.e.* DOE 2.2¹¹, E-Quest¹², Energy-10¹³) como una herramienta que permita a los diseñadores tener una idea más clara y gráfica del comportamiento energético del edificio, para así minimizar el consumo de energía.
- Optimizar el diseño pasivo del edificio.
- Maximizar el performance térmico de la envolvente.
- Minimizar las cargas internas del edificio.
- Diseñar un sistema eficiente HVAC que minimice el uso de energía.
- Incorporar el uso de energía renovable tanto como sea posible.
- Capturar la energía perdida por medio de sistemas combinados de calor y potencia, cogeneración, ventilación y recuperación de energía eólica, entre otros.
- Incorporar nuevas tecnologías donde sea apropiado, por ejemplo, enfriamiento por radiación y sistemas geotérmicos (*ground-coupling*¹⁴).

Durante el proceso iterativo antes mencionado, será necesario hacer ajustes con base en el presupuesto y requerimientos del cliente. Es de resaltar, que un diseño energético bien realizado, tendrá como resultado una importante disminución en los costos operativos con un mínimo o nulo aumento en el costo total del proyecto.

¹¹ DOE 2.2 es la versión del 2009 del DOE, un programa de simulación energética del edificio y de cálculo de costos de los sistemas eléctricos, desarrollado por primera vez por el USGBC en el 2001.

¹² E-Quest es un software desarrollado por el USGBC que combina las funciones del DOE 2.2 con asistentes de diseño y esquemas gráficos.

¹³ Energy-10 es una herramienta de diseño que analiza, compara e ilustra los ahorros económicos y energéticos que se pueden alcanzar entre diferentes alternativas de diseño.

¹⁴ Un sistema *ground-coupling* representa una estrategia de enfriamiento y calefacción que utiliza las propiedades geotérmicas del suelo para ambas tareas.

En algunos casos, este diseño puede también disminuir las cargas de los sistemas HVAC, y por lo tanto, reducir los costos del equipo.

3.2 Diseño Pasivo

El primer paso para comenzar el diseño de los sistemas energéticos de un edificio es el diseño pasivo. El diseño pasivo se refiere al diseño de los sistemas HVAC pasivos del edificio, basándose en el aprovechamiento de las condiciones de sitio como la luz de día, el viento, la vegetación, y otros recursos naturales. (Figura 3.2) El diseño pasivo incluye el uso de todas las medidas posibles para reducir el consumo de energía, antes de considerar alguna fuente de energía externa que no sea el sol o el viento. Un edificio cuyo aspecto pasivo ha sido bien diseñado es aquel que aún estando apagados los sistemas HVAC es razonablemente funcional debido al buen aprovechamiento de la luz de día y un adecuado sistema de enfriamiento, ventilación y calefacción pasivo.

El diseño pasivo tiene dos aspectos importantes, el primero es el uso de las condiciones del sitio para reducir el perfil energético del edificio, y el segundo, el diseño arquitectónico del edificio (orientación, relación de aspecto¹⁵, volumen, ubicación de ventanas y áreas abiertas, trayectoria del viento, entre otros).



Figura 3.2 "Hipercentro Verde" Milán, Italia. El uso de elementos de diseño pasivo, la ventilación natural, y la incorporación de espacios públicos fueron aspectos clave en el diseño de éste edificio de oficinas realizado por la firma de arquitectos Hosoya Schaefer. Fuente: Sitio web *Hosoya Schaefer Architects*

¹⁵ Relación de aspecto (*AR* o *Aspect Ratio*), es una variable que se calcula al dividir la longitud de un edificio entre su ancho. El cual es un indicador de la forma general del edificio. Por ejemplo, un AR de 1 implica que este edificio cuadrado va a tener la mínima área superficial comparada con su volumen.

El diseño pasivo involucra un gran número de variables a analizar cómo: condiciones geográficas del lugar (latitud, altitud), climáticas (incidencia solar, variaciones de temperatura, patrones de humedad, dirección y fuerza del viento), presencia de árboles y vegetación, y presencia de otros edificios.

Algunos de los factores que se deben de incluir en el desarrollo de una estrategia de diseño pasivo son:

- **Clima local:** El análisis de la relación entre los ángulos de incidencia del sol, tiempo de exposición, velocidad y dirección del viento, temperatura del aire y humedad a lo largo del año será de vital importancia para aprovechar el sol y el viento en procesos de calefacción, ventilación y enfriamiento pasivo. De esta manera se disminuirán las cargas a los sistemas HVAC eléctricos.
- **Condiciones del sitio:** Al igual que el clima, el terreno, la vegetación, las condiciones del suelo, los mantos freáticos, el microclima, y la presencia de otros edificios cercanos, son elementos cuyo aprovechamiento y conservación darán un valor agregado a nuestro edificio además de proveer a los ocupantes de un ambiente más saludable y confortable.
- **Relación de aspecto del edificio:** Es la relación de la longitud del edificio entre su ancho. Este factor es muy importante en climas fríos, donde se desea tener una menor superficie de propagación del calor, por lo cual se buscará una relación cercana a 1. En cambio, en climas cálidos se busca aumentar esta relación con el fin de maximizar la superficie antes mencionada y de esta manera lograr que el calor se disipe rápidamente dentro del edificio.
- **Orientación del edificio:** Se recomienda orientar el eje de mayor longitud en dirección este-oeste lo cual minimizará las cargas solares directas y permitirá tener un mejor arreglo de ventanas y un mayor aprovechamiento de la luz solar. En las zonas que estarán más expuestas al sol (norte-sur) se requerirá que las ventanas cumplan con características de recubrimiento especiales.
- **Cuerpo del edificio:** La capacidad de almacenamiento térmico de los materiales de construcción (en el techo, muros y pisos) es un elemento que integra el rendimiento térmico del edificio. Otros elementos importantes serán el color, el cual juega un papel importante en la masa térmica del edificio, las ventanas y los espacios abiertos que permitirán la entrada de luz y calor.
- **Uso del edificio:** El conocer el perfil de uso del edificio así como las horas de operación es un aspecto que nos ayudará a limitar las cargas térmicas y por ende los requerimientos energéticos durante los días y horas de operación.
- **Incidencia de luz solar:** El diseño y colocación de ventanas en el edificio al igual que los dispositivos de iluminación natural (plataformas de luz, domos y persianas exteriores e

interiores, entre otros) permitirán la entrada de una mayor cantidad de luz de día al edificio manteniendo el confort de los ocupantes.

- **Envolvente del edificio:** La geometría, aislamiento, diseño y colocación de ventanas, puertas, entradas de aire, ventilación, sombra, masa térmica y color, son elementos que conforman la envolvente del edificio los cuales tendrán que ser estudiados para lograr una sinergia entre ellos y de esta manera obtener un mejor performance en el diseño pasivo.
- **Cargas internas:** Estas cargas son aquellas variables que influirán en la temperatura interna del edificio como son: las personas, la iluminación, el equipo eléctrico y otros elementos. En función de estas cargas se realizará el diseño de los sistemas HVAC y de ventilación, enfriamiento y calefacción pasivos del edificio. Entre mayor sea la contribución del diseño pasivo para disminuir las cargas internas, menor serán los costos operativos por concepto de consumo energético y de adquisición de los sistemas externos.
- **Ventilación:** Fenómenos como el efecto venturi¹⁶, ventilación cruzada¹⁷ y de chimenea¹⁸ dentro del edificio nos darán la oportunidad de aprovechar el potencial natural del viento para efectos de ventilación pasiva.

Como cualquier otro concepto, el diseño pasivo puede ser aplicado deficientemente y no dar los resultados óptimos. De aquí que gran parte de su éxito dependa del correcto análisis e integración de las variables anteriormente enlistadas que dependerán de las características y demandas de cada proyecto.

El diseño pasivo disminuirá las cargas internas del edificio a través de una buena estrategia de iluminación natural que tendrá el doble beneficio al disminuir el consumo de energía para iluminación y reducir las cargas de enfriamiento producidas por los dispositivos de iluminación.

¹⁶ El efecto Venturi es aquel que se da cuando el movimiento del aire es inducido por el desarrollo de un área de baja presión creada por el flujo del viento.

¹⁷ La ventilación cruzada es un concepto utilizado por la Arquitectura bioclimática, para definir un modo de ventilación de los edificios. Para esto y dependiendo de cada sitio y de la hora del día hay vientos característicos que generan zonas de alta presión a sotavento y baja presión a barlovento. Esto implica favorecer una ventilación que de estar abiertas las ventanas y puertas interiores de los locales barra de forma lo más homogénea posible todos los locales de un edificio o vivienda.

¹⁸ El efecto chimenea es a través del cual el aire se eleva normalmente debido a su calentamiento, induciendo el flujo del aire en una dirección vertical.

3.3 Reducción y Control de Cargas Internas

La reducción de cargas internas constituye una estrategia a través de la cual se busca disminuir las cargas en las conexiones eléctricas del edificio. Equipos tales como computadoras, copiadoras, cafeteras, impresoras, y demás equipos periféricos son una fuente muy importante de consumo energético y de generación de calor dentro del edificio. Algunas de los puntos clave a analizar en el proceso de reducción de cargas internas en las conexiones eléctricas se explicarán a continuación.

- Reducción de cargas. Ésta estrategia implica un estudio de cargas eléctricas futuras del edificio para lograr un buen balance, tanto eléctrico como térmico que permita obtener un alto rendimiento energético. El uso de equipos y dispositivos ahorradores de energía es una opción muy adecuada para reducir el consumo energético y disminuir los costos de operación dentro de este marco. Por otra parte, un análisis del ciclo de vida de estos equipos nos dará una visión más clara de la viabilidad económica en materia de adquisición o renovación en términos del ahorro anual versus su costo anualizado.
- Control de cargas. El control de cargas en las conexiones eléctricas es un factor clave para la disminución del consumo de energía. Algunos equipos tales como servidores principales, sistemas de seguridad y algunas conexiones satelitales necesitan estar encendidos 24 horas al día, 7 días a la semana; en estos casos es muy conveniente que el equipo tenga un alto rendimiento energético. El control de cargas fantasma, (cargas debidas al consumo de energía cuando el equipo no está en funcionamiento) es una estrategia importante para la reducción del consumo de energía del edificio. Hay equipo cuyos ciclos de funcionamiento son muy variables, como el caso del microondas, el cual gasta mucho más energía a lo largo del día por el simple hecho de estar conectado más que por el tiempo neto de uso. El uso de sensores de movimiento que apaguen el monitor, las lámparas de escritorio y otros dispositivos periféricos no esenciales cuando dejamos el escritorio es también una forma de disminuir el consumo de energía. La práctica de apagar el sistema eléctrico de los aparatos no vitales una vez que el edificio este vacío es una de las mejores medidas que permitirán disminuir las cargas fantasmas internas. Se recomienda llevar este control mediante un sistema de control de energía (*EMS o Energy Management System*) del cual se hablará más adelante.

3.4 Sistemas Mecánicos

Después de que el diseño pasivo del edificio sea optimizado y la estrategia de reducción de cargas internas disminuida, se procederá al diseño de los sistemas mecánicos HVAC del edificio. El sistema HVAC en un edificio estará en función del tamaño del edificio, las condiciones climáticas, y el perfil de cargas del edificio. Su función principal es proporcionar una corriente de aire, calefacción, y enfriamiento adecuado a cada cuarto con base en las cargas internas calculadas.

Un sistema HVAC común en edificios tiene dos partes, la primera de aire que proporcionará aire acondicionado dentro de los cuartos, y la segunda de agua que proporciona agua caliente y fría para usarse en el sistema, así que se debe de buscar equipo con la más alta eficiencia posible para estos trabajos. El equipo que integra a un sistema HVAC incluye: enfriadores, componentes del sistema de aire acondicionado y sistemas de recuperación de energía.

3.4.1 Enfriadores

Un enfriador de agua o *chiller* es una máquina de refrigeración cuya función principal es enfriar o calentar (en modo bomba de calor) un medio líquido. Existen cuatro tipos principales de enfriadores: centrífugos (1000 kW), de hélice (170 kW a 1360 kW), de desplazamiento (170 kW) y reciprocantes (510 kW).

La eficiencia de la planta de enfriamiento puede llegar a aumentar hasta en un 50 por ciento al combinar nuevas tecnologías como el control digital directo¹⁹ (*DDC o Direct Digital Control*) y unidades de frecuencia variable con un diseño, implantación y operación mejorados.

El coeficiente que nos permite analizar el rendimiento de un equipo de enfriamiento es el coeficiente de rendimiento²⁰ (*COP o Coefficient Of Performance*) el cual es la relación entre la energía de enfriamiento producida por un enfriador con respecto a la energía eléctrica que necesita para operar. En general los enfriadores de hélice y de desplazamiento con base en agua tienen los más altos COP de todos los tipos de enfriadores (COP=6), en comparación con aquellos con base en aire que tienen un COP de 2.5. Otro tipo de enfriadores son los de absorción cuyo COP es de 1, lo cual parecería inconveniente; sin embargo, utilizan el calor

¹⁹ Un sistema de control digital directo se utiliza, generalmente, para controlar los dispositivos HVAC tales como válvulas, a través de microprocesadores que realizan la lógica de control. Estos sistemas pueden ser acoplados con un paquete de software que, gráficamente, permite a los operadores seguir, controlar, alertar y diagnosticar el equipo de forma remota.

²⁰ Un COP de 3, por ejemplo, indica que el enfriador proporciona 3kWh de enfriamiento por 1kWh de energía entrante.

que de otra forma sería desperdiciado para proporcionar enfriamiento. Ahora bien, una estrategia que implique la combinación de dos tecnologías diferentes, un enfriador de hélice que dirija la energía calorífica que despiden hacia un enfriador por absorción que use ese calor para enfriar, aumentará el COP de todo el sistema.

3.4.2 Sistemas de distribución de aire

Otro de los sistemas que más consume energía en un edificio es el de aire acondicionado, integrado por controladores de aire, motores eléctricos, conductos, difusores de aire, registros y rejillas, intercambiadores de energía y humedad, cajas y sistema de control. En un buen diseño, el sistema de aire acondicionado tendrá la capacidad de proporcionar la demanda necesaria de aire de manera eficiente a través de diferentes condiciones operativas.

Algunas de las opciones de diseño para mejorar el rendimiento del sistema de aire acondicionado son:

- Sistemas de volumen de aire variable (**VAV**). Estos sistemas producen el volumen preciso de aire necesario dependiendo de las condiciones de carga actuales en un determinado espacio dentro del edificio.
- Difusores VAV. El uso de difusores VAV locales permite controlar de manera individual la temperatura en el edificio. Esto es muy útil dado que en diferentes zonas del edificio siempre existirán variaciones de temperatura debidas a la distribución no uniforme de las cargas internas, lo que implicará una variación de la demanda de aire de lugar a lugar independientemente que estén en la misma planta. Para satisfacer esta demanda se colocarán difusores en el techo de cada cuarto que modularán mediante *DDC* la cantidad de aire entrante en cada espacio, eliminando la ineficiente práctica de sobrecalentar o sobre enfriar ciertas zonas del edificio, y de esta manera, mejorar la sensación de confort entre los ocupantes.
- Diseño de conductos a baja presión. Para reducir la caída de presión en los ductos se debe de incrementar el diámetro de los mismos. Esto es debido a que al incrementar el tamaño del diámetro de los ductos, se permitirá una disminución en la velocidad de aire llevando a reducciones en la velocidad de ventilación que implicarán un ahorro de energía. Otro aspecto a considerar es el mejoramiento de la aerodinámica de las vías de flujo evitando vueltas muy cerradas en la línea de conducción.
- Dimensionamiento adecuado de ventiladores y motores de frecuencia variable. Los ventiladores deberán de dimensionarse con base en el análisis de cargas internas dentro del edificio, lo cual eliminará el sobredimensionamiento de los equipos e incrementos en los costos de adquisición y operativos. El uso de motores de frecuencia variable

controlados electrónicamente llevarán a la operación del sistema de ventilación en función de los cambios en las cargas internas dentro del edificio.

- Sistemas de ventilación por desplazamiento. En este sistema la inyección de aire se hace directamente en el área ocupada, a nivel de piso, a una temperatura poco menor que la del propio aire del cuarto (18-21°C), generando así el desplazamiento del aire más caliente hacia arriba (Figura 3.3). El aire caliente sube y el aire frío lo va desplazando, los principales contaminantes de menor densidad suben a la parte no ocupada, y estos son removidos por el retorno.



Figura 3.3 Sistema de aire acondicionado: ventilación por desplazamiento. Fuente: Sitio web Mundo HVAC

3.4.3 Sistemas de recuperación de energía

Los sistemas de recuperación de energía para ventilación (*ERS* o *Energy Recovery Systems*) recuperan la energía del aire de extracción para pre-acondicionar el aire fresco que se está inyectando en el área interior. Estos sistemas consisten básicamente en un intercambiador de calor aire / aire en el cual el aire fresco pasa por un pasaje y el aire de extracción pasa por otro. En el intercambiador de calor, el aire fresco se pre-acondiciona usando la energía del aire de extracción. La temperatura se transfiere por medio de conducción y la humedad se transfiere por medio de la diferencia de presión de vapor. De esta manera se disminuye el costo energético de la ventilación al disminuir la carga térmica del aire fresco.

El éxito de los sistemas de recuperación de energía, para el caso de los economizadores, depende de varios factores tales como:

- Tipo de estrategia de control. La ubicación y características del edificio van a determinar el tipo de economizador o *ERS*. La estrategia de control dependerá también del clima; para el caso de climas secos se recomienda un control de bulbo seco (que responde solo a la temperatura), sin embargo, en climas más húmedos se instalará un control de

entalpía (el cual responde a la temperatura y a la humedad) (Figura 3.4). Estos sistemas miden mediante sensores térmicos las condiciones interiores y exteriores del edificio que van a influir directamente en la cantidad de energía eléctrica que necesitará el economizador para disminuir la carga térmica del aire fresco.



Figura 3.4 Sensor entálpico. Es un sensor combinado de temperatura y humedad para medir los factores de condición del aire, la temperatura, la humedad relativa, la humedad absoluta (llamada también contenido de agua), la temperatura del punto de rocío y la entalpía. Fuente: Sitio web *RTS Automation*

- Tipo y localización del sensor exterior. El funcionamiento óptimo de un economizador significa que puede medir correctamente la temperatura o entalpía exterior. Para lograr esto, el sensor debe ser exacto y deberá de ser instalado de tal forma que no esté expuesto directamente al sol o a corrientes de viento. Arreglo de los sensores. Para grandes sistemas HVAC, el uso de un solo sensor no es suficiente. Esto es debido a que el aire frío y caliente se estratificarán en los ductos y un solo sensor no reflejará la temperatura promedio del aire. La instalación de un arreglo de sensores térmicos proporcionará una lectura más precisa de la temperatura promedio del aire lo cual mejorará el rendimiento del sistema.
- Ubicación de la entrada de aire libre. Para aumentar el rendimiento de los economizadores, la entrada de aire libre deberá de ubicarse lejos de fuentes de escape de aire que provoquen que entre aire caliente o húmedo al edificio.
- Integración del economizador al sistema mecánico de enfriamiento. Un economizador que no trabaja de forma conjunta con el sistema de enfriamiento mecánico se le llama no integrado, lo que implica que no está funcionando óptimamente y por lo tanto no genera los beneficios que debería. Cuando las condiciones son secas o frías, el economizador proporciona todo el enfriamiento necesario, pero cuando las condiciones son más cálidas, el economizador trabaja a su mínimo dejándole toda la carga de enfriamiento al sistema mecánico. En el caso de un economizador integrado, puede usar el 100 por ciento del aire exterior para enfriar tanto como sea posible y después complementar el rendimiento con el sistema de enfriamiento mecánico para hacer la diferencia.

3.5 Sistemas Solares de Calefacción de Agua

En instalaciones donde es necesario tener disponibilidad de agua caliente, el consumo de energía por este concepto representa una parte muy importante en los costos de operación el cual se podría disminuir mediante el uso de calentadores solares de agua.

El principio de funcionamiento de los sistemas solares de calefacción de agua es el mismo sin importar que de qué tipo de tecnología se esté hablando. La luz solar incide y calienta una superficie absorbente dentro de un colector solar o un tanque de almacenamiento. Un sistema de tubería transporta el agua potable que absorbe la energía calorífica del colector al que se encuentra unida la tubería. El agua caliente se almacena posteriormente en un tanque. Si se necesitará calefacción adicional, ésta se suministrará mediante sistemas convencionales de calefacción de agua con energía eléctrica o fósil. “Al reducir la cantidad de calor que debe de ser proporcionada por sistemas tradicionales, los sistemas solares de calefacción de agua sustituyen directamente la energía renovable usada para obtener energía convencional, reduciendo el uso de electricidad o combustibles fósiles hasta en un 80 por ciento” (Kilbert, 2009).

La Figura 3.5 muestra dos tipos de calentadores solares: (a) colector de placa plana que consiste en una caja herméticamente cerrada con una cubierta de vidrio transparente. En su interior se ubica una placa de absorción la cual está en contacto con unos tubos por los que circula el líquido que absorbe el calor. (b) Los colectores de tubo de vacío poseen un material absorbente sellado al vacío dentro del tubo para capturar la radiación del sol. Las pérdidas térmicas de estos sistemas con muy bajas incluso en climas fríos.



Figura 3.5 Tipos de calentadores solares. Colector de placa plana (izquierda) y colector de tubos de vacío (derecha). Fuente: Sitio web *Solar Heat Water, Heating and Cooling Systems*.

3.6 Sistemas Eléctricos y Motores

Además de los sistemas de aire acondicionado y de calefacción, el sistema de iluminación y los motores eléctricos son los mayores consumidores de energía eléctrica. Las innovaciones en tecnologías de iluminación tales como accesorios y sistemas de control han logrado que se pueda aumentar el rendimiento energético de un edificio. Dado que los motores eléctricos impulsan ventiladores, bombas, y otros dispositivos, utilizar los motores más eficientes energéticamente resultará en importantes ahorros de energía.

3.6.1 Sistemas de iluminación

Debido a que los sistemas de iluminación demandan una gran cantidad de energía eléctrica, el objetivo a alcanzar será la reducción en la dependencia de la iluminación artificial maximizando el uso de luz de día. Lo cual significa que se debe de trabajar por lograr una estrategia integral, esto es, combinar ambos tipos de iluminación para suministrar iluminación de alta calidad y de bajo consumo energético en el edificio. Los tipos de iluminación que permiten un mayor rendimiento energético del edificio son:

- **Iluminación LED.** El uso de luz emitida por diodos (*LEDs o light-emitting diodes*) para los sistemas de iluminación en los edificios está creciendo rápidamente. Los *LEDs* están basados en semiconductores que emiten luz cuando la corriente pasa a través de ellos, convirtiendo la electricidad en luz con una mínima generación de calor. Los colores disponibles en sistemas de iluminación LED son rojo, ámbar, naranja, cian, azul, azul rey y verde. Las aplicaciones están desde la iluminación en casas, oficinas, centros comerciales, hoteles (Figura 3.6), hasta su aplicación en puentes.

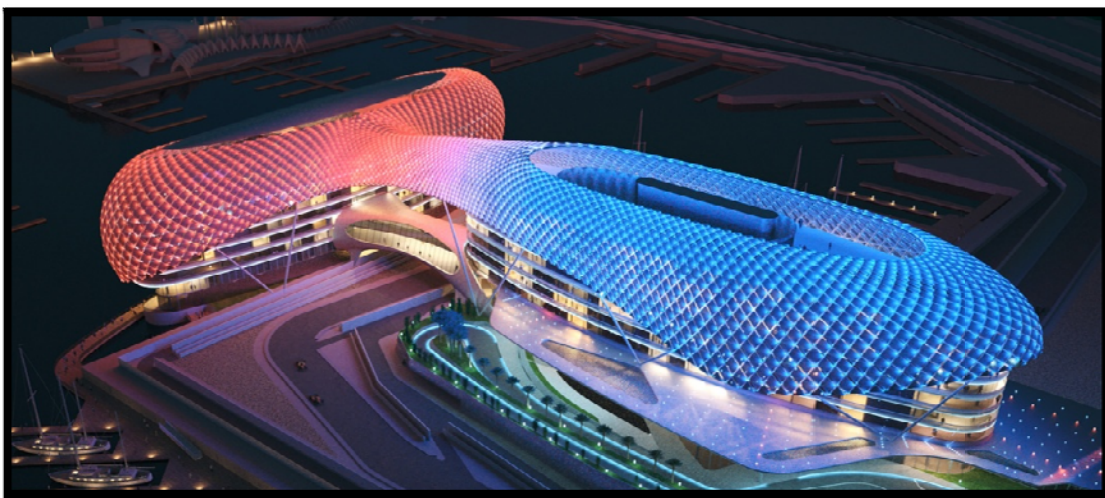


Figura 3.6 El "Yas Hotel", Abu Dhabi. Es el proyecto LED más grande del mundo. El sistema de iluminación de la envolvente está compuesta por más de 5 300 paneles en forma de diamante con más de 5 000 elementos LED. El sistema curvilíneo de la envolvente permite una amplia gama de secuencias cambiantes de colores y hasta se puede proyectar videos 3D de baja resolución. Fuente: Sitio web del *Yas Hotel*

Las luminarias LED tienen una duración de 20 veces mayor que las de bulbo incandescente y de 2 a 3 veces mayor que las fluorescentes. (Figura 3.7)



Figura 3.7 El foco LED GE Energy Smart®. En su versión de 9 watts está diseñado para reemplazar a los incandescentes comunes de 40 watts, brindando la misma cantidad de luz con un ahorro de energía de hasta 77%. Su vida útil es de 25mil horas, suficiente para durar hasta 17 años considerándose un uso diario de 4 horas. Fuente: Sitio web de *Gadgets y electrónica*

En los próximos años, la tecnología LED podrá ser usada en muchas de las aplicaciones dentro de los edificios, reduciendo de manera significativa la demanda energética y los costos por consumo de energía.

- **Iluminación fluorescente.** La luz fluorescente es usada en la mayoría de los edificios debido a su alta eficiencia y fácil control. Las lámparas se clasifican de acuerdo a su longitud, forma, diámetro, voltaje, temperatura de calor e índice de interpretación del color²¹ (*CRI o color rendering index*). Es importante colocar el tipo de luminaria dependiendo del uso del lugar, por ejemplo, en zonas abiertas como estacionamientos, autopistas, o jardines, los reflectores son lo más conveniente. Sin embargo, en edificios de oficinas no sería nada conveniente un reflector, así que optamos por lámparas parabólicas que reducirán el deslumbramiento y la emisión de flujo luminoso de los monitores. Aunque también dependerá de la altura del techo; para el caso de techos mayores a 2.7m se recomienda luminarias colgantes o de pared, en techos menores a 2.6m la colocación de luminarias parabólicas es más adecuado. Las lámparas colgantes y de pared integran una estrategia de alta eficiencia energética debido a que reducirá el número de luminarias necesarias para satisfacer la demanda de luz en una zona determinada del edificio.

²¹ El CRI indica cómo una fuente de luz afecta la apariencia de un arreglo de colores estándares bajo condiciones estándar.

- **Iluminación por fibra óptica.** Un sistema de iluminación por fibra óptica está integrado por tres elementos:
 1. Iluminador, el cual se conecta a una toma convencional y cuyo consumo puede ser de 75, 100, 150, 200, 250 watts empleando lámparas de halógeno o haluro metálico. Dependiendo del iluminador se puede instalar una rueda de colores o adaptarlo a una conexión DMX²² permitiendo el cambio y/o programación de diferentes colores de iluminación a las fibras ópticas conectadas al iluminador.
 2. Cable de fibra óptica. La emisión de luz que entregan los cables de fibra óptica puede ser lateral (generando una línea continua de luz al estilo de un cable neón) o puntual (*spot o end lit*) permitiendo variar el haz de luz entregado dependiendo del foco (terminal) que sea instalado.
 3. Foco (terminal). Existen diferentes tipos de focos que se conectan al cable de fibra óptica. En el caso del cable de iluminación lateral pueden instalarse guías de montaje permitiendo generar líneas curvas o rectas dado que el cable de fibra óptica es flexible. En el caso de iluminación puntual la diversidad de terminales es mayor, dependiendo de las aplicaciones. (Figura 3.8)



Figura 3.8 Fibra óptica subacuática. Mediante el uso de sistemas de iluminación puntual se puede conectar lentes subacuáticos para iluminación de albercas. Las principales ventajas del uso de la fibra óptica es que no conduce electricidad, calor o gases, permite el cambio de color en la iluminación, es muy durable, de bajo consumo energético y prácticamente no necesita mantenimiento. Fuente: Sitio web *Architecture Things*

²² DMX 512, a menudo abreviado como DMX (Digital Multiplex), es un protocolo electrónico utilizado en iluminación para la gestión y control de iluminación espectacular permitiendo la comunicación entre los equipos de control de luces y las propias fuentes de luz.

3.6.2 Sistemas de control de iluminación

Idealmente los controles de iluminación deberían de formar un sistema integral que cumpla con dos funciones básicas: (a) detectar cuando un lugar esté ocupado y apagar y encender las luces como respuesta a la presencia o ausencia de ocupantes; (b) aumentar o disminuir la intensidad de las luminarias o, encender o apagar las luces para compensar los niveles de luz suministrados por el sistema de iluminación pasivo.

“Investigaciones han demostrado que la iluminación natural en conjunto con los sistemas de iluminación artificial, tales como sistemas de encendido y apagado continuos, y sistemas de atenuación continua, tienen el potencial de reducir el consumo de energía eléctrica en edificios de oficinas hasta en un 50%.”(Kilbert, 2009).

Existen dos tipos básicos de sistemas de control de iluminación: encendido y apagado (*switching*) y control gradual (*dimming*). Los sistemas *dimming* con DDC pueden ir aumentando o disminuyendo la intensidad de la luz a lo largo del día en función de la cantidad de luz de día presente, por lo que la luz artificial mantendrá estable la cantidad de luz en el edificio eliminando cambios bruscos de iluminación, como lo sería el caso de un sistema *switching*. Los sistemas *dimming* son más adecuados para oficinas, escuelas y aquellas instalaciones donde se lleve a cabo trabajo de escritorio. Los sistemas *switching* pueden ser usados en áreas con altos niveles de luz de día tales como vestíbulos, corredores exteriores, o lugares como cafeterías o salones de reunión donde no se realicen actividades visuales críticas. Para llevar a cabo este control se usan sensores fotosensibles, al menos uno por cada orientación del edificio. La zona de control de iluminación interior en oficinas será de 5m medidos desde la ventana (que representa la profundidad de la zona promedio iluminada naturalmente). Los controles de iluminación pueden ser ajustados para suministrar una cantidad de luz deseada en cualquier área del edificio.

3.6.3 Motores eléctricos

Los motores eléctricos son elementos importantes en un edificio ya que mueven ventiladores, bombas, elevadores, entre otros. Los motores generalmente consumen de 4 a 10 veces su costo en energía cada año, de ahí que tenga sentido la adquisición de modelos ahorradores de energía. El aumento de la eficiencia de los motores y equipos eléctricos llevarán a ahorros significantes de energía reduciendo los costos operativos.

3.7 Tecnologías Vanguardistas en la Optimización de Energía

A partir del auge de la edificación sustentable, se han desarrollado diversas tecnologías en materia de sistemas de ahorro de energía eléctrica. Cuatro de las nuevas tendencias en edificaciones se describirán en este apartado: Enfriamiento por radiación, *ground coupling*, sistemas de energía renovables y celdas de combustible. Enfoques que conforman una estrategia innovadora en el campo de la ingeniería civil sustentable los cuales, de ser adecuadamente integrados en un edificio tendrán un efecto muy positivo en el consumo de energía.

3.7.1 Enfriamiento por radiación

El enfriamiento por radiación es una estrategia en la cual el sistema de ventilación está compuesto por tuberías dispuestas a lo largo de los techos, paredes o pisos, las cuales transportan agua fría, permitiendo una radiación de energía calorífica de baja temperatura hacia el interior del edificio. En los sistemas convencionales el sistema de enfriamiento está compuesto por tuberías que transportan aire frío el cual es expulsado al interior del edificio en zonas puntuales, en cambio, en el sistema por radiación todo el techo radiará el frío que se dispondrá por toda la zona.

Un sistema de enfriamiento convencional utiliza como medio principal el aire, que es un medio compresible, con baja capacidad térmica, y con una demanda mayor de energía para su movimiento. Al contrario, el agua es incompresible, tiene una capacidad térmica tres mil veces mayor a la del aire y es más fácil de mover, lo cual hace la operación de un sistema de enfriamiento por radiación mucho más barato en sus costos operativos. Es importante la instalación de sensores de humedad para asegurar que la temperatura del agua se mantenga siempre por debajo del punto de rocío del aire del lugar. De ahí que ésta tecnología sea más apropiada en climas secos. En climas húmedos, el simple hecho de abrir una puerta dejará entrar suficiente humedad al lugar lo cual permitirá que la condensación se lleve a cabo, por lo que la aplicación de esta estrategia en climas cálidos y húmedos deberá de integrarse de manera conjunta con sistemas de enfriamiento mecánicos con el fin de tener un sistema factible económicamente y de bajo consumo energético.

El costo de un sistema de enfriamiento por radiación es aproximadamente el mismo que un sistema *VAV*, sin embargo, los ahorros a lo largo de su ciclo de vida son 25 por ciento mayores que los de un sistema *VAV*. Además, la energía requerida para hacer circular el agua representa el 5% de la energía necesaria para circular una cantidad de aire similar.

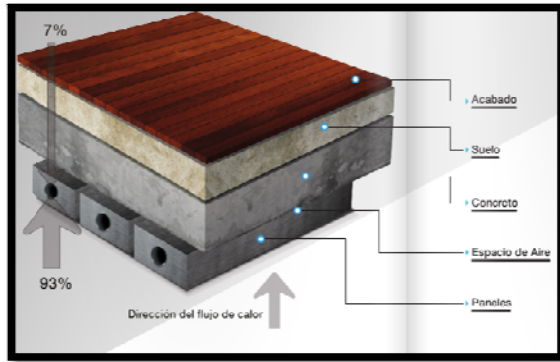


Figura 3.9 Esquema de un sistema de enfriamiento por radiación. Fuente: Sitio web *Mundo HVACR*

Algunas de las ventajas del sistema de enfriamiento por radiación (Figura 3.9) incluyen mecanismos simples, bajos costos de mantenimiento y bajo consumo de energía eléctrica comparados con los sistemas tradicionales.

Existen tres tipos principales de sistemas de enfriamiento por radiación:

- Paneles metálicos. Son tubos metálicos conectados a paneles de aluminio. Es el sistema más usado debido a que tiene un tiempo de respuesta a condiciones cambiantes relativamente corto.
- Mallas de enfriamiento. Consisten en tubos de plástico embebidos en yeso.
- De núcleo de concreto. Son tubos de plástico incrustados en los pisos de concreto y en losas de techo o entrepiso.

3.7.2 Sistemas geotérmicos

Estos sistemas representan un método innovador que aprovecha las características geotérmicas del suelo y cuerpos de agua cercanos al edificio para reducir el consumo de energía de los sistemas de calefacción y enfriamiento. La distribución de la temperatura del suelo con respecto a la profundidad (perfil térmico) está en función de la conductividad térmica del suelo. Las observaciones de la temperatura del suelo a lo largo de un año revelan que “existe una variación diurna de la temperatura en la superficie, que se extiende hasta una profundidad de alrededor de un metro, debajo de la cual las variaciones son demasiado pequeñas” (Inzunza, 2001). Lo cual implica que la temperatura por debajo de los 2m prácticamente no varía a lo largo del año, fundamento físico de la tecnología de calefacción y enfriamiento geotérmico (*ground coupling*). Existen dos métodos para aplicar estos sistemas, directo e indirecto.

El método directo consiste en la colocación de tuberías al interior del suelo (Figura 3.10) o en cuerpos de agua (fuentes geotérmicas), unidas al sistema de calefacción o enfriamiento del edificio, las cuales enfriarán o calentarán el agua por medio de transferencia de calor al contacto con la fuente geotérmica.

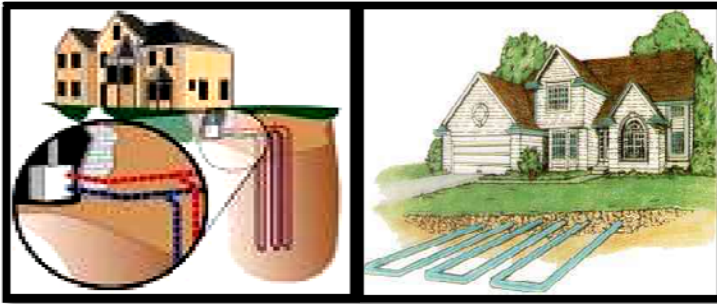


Figura 3.10 La disposición de las tuberías en el suelo puede ser de forma vertical u horizontal y doble o sencilla. Fuentes: Sitios web de *Novarma* y *XERXE*.

El método indirecto emplea el uso conjunto de bombas de calor con el método directo para suministrar la cantidad de calor o frío necesario dentro del edificio. La aplicación de este método se debe a que la temperatura resultado del método directo no satisface totalmente la demanda del edificio por lo que se ayuda de sistemas eléctricos. Aún así, los ahorros en consumo de energía son muy importantes, ya que el proceso de intercambio térmico entre la fuente geotérmica y la tubería prácticamente no implica ningún costo, más que el de recirculación del agua.

3.7.3 Energías renovables

Las energías renovables en edificios pueden generarse in-situ mediante tecnologías de sistemas de celdas fotovoltaicas, de generadores eólicos y de celdas de combustible.

- **Celdas Fotovoltaicas.**

Una celda fotovoltaica es un dispositivo que convierte energía solar en eléctrica y dispone de batería para almacenamiento de energía en caso de ser necesario. El uso de celdas fotovoltaicas en edificios es una práctica cada vez más común para optimizar el consumo de energía. Recientemente, las nuevas tecnologías de sistemas fotovoltaicos integrados al edificio (*BIPV* o *building-integrated photovoltaics*) han cambiado la concepción tradicional de sistemas fotovoltaicos al integrarlos como materiales de construcción además de realizar su función principal de producción de electricidad. Los elementos BIPV (Figura 3.11) son tan diversos como los elementos que integran la fachada de un edificio, van desde cristales, domos, paredes, techos, hasta persianas solares y membranas impermeables. La apariencia y color de los productos BIPV variarán dependiendo de la aplicación y el tipo de tecnología del colector solar, los más eficientes tienen un color azul oscuro o casi negro, aunque también están disponibles en gris oscuro y azul, algunas compañías pueden construir elementos de colores personalizados en caso de grandes pedidos. Dependiendo del medio colector, los BIPV pueden generar aproximadamente de 50 a 100 watts por metro cuadrado.



Figura 3.11 Tipos de cristales en la tecnología BIPV. Pueden ser transparentes (izquierda) o semitransparentes (derecha) adecuándose al diseño del edificio. Fuente: Sitio web *BIPV Building Integrated Photovoltaics*

▪ Energía eólica.

La energía eólica es una nueva tendencia que está ganando terreno en el campo de energías renovables para edificios, presentando un crecimiento del 23% desde el 2008 según los datos reportados por la Asociación de Energía Eólica. El principio fundamental es la conversión de energía eólica a eléctrica. Se dice que “esta tecnología es ideal para grandes edificios, centros comerciales, escuelas, etc., ya que pueden alimentar al edificio completo sin que tenga la necesidad de comprar electricidad de la red”²³.

Uno de los productos representativos de este tipo de energía es el cubo de viento “*Windcube*” (Figura 3.12) el cual captura el viento y lo envía al centro del cubo donde está la turbina, en el proceso, basado en el principio de Bernoulli, captura y amplifica el poder del viento para suministrar más kilowatts hora (kWh). Una turbina de viento comercial tipo *Windcube* (60 kW) es capaz de suministrar alrededor de 160 000 kWh anualmente con una velocidad promedio del viento de 15 mph. Sus dimensiones son 6.7x6.7x3.7m.



Figura 3.12 Tipos de sistemas eólicos. Turbina de cubo de viento (izquierda) y modulares (derecha).

Fuente: Sitio web *Inhabitat, design will save the world*

²³ “Turbinas de viento para edificios.”, *Blog eRenovabe*

Otra tecnología en materia de energía eólica son las turbinas modulares. Éste sistema está compuesto por turbinas silenciosas de baja velocidad dispuestas en un arreglo modular colocado en las orillas de los techos de los edificios, el cual gracias a su diseño aerodinámico captura el viento que corre junto a las paredes de los edificios altos. Las turbinas modulares de la Figura 3.13 cuentan con un peso de 90kg por unidad, una altura y ancho de 1.2m.

■ **Celdas de combustible**

Una celda de combustible es un dispositivo de conversión de energía, que opera como una batería, el cual genera electricidad combinando hidrogeno y oxigeno electroquímicamente sin ninguna combustión. A diferencia de las baterías, una celda de combustible, no se agota, ni requiere recarga, producirá energía en forma de electricidad y calor mientras se le provea combustible, el único subproducto es agua pura. Una celda de combustible consiste en dos electrodos, por los que pasa oxigeno en uno e hidrogeno en el otro, separados por un electrolito. (Figura 3.13)

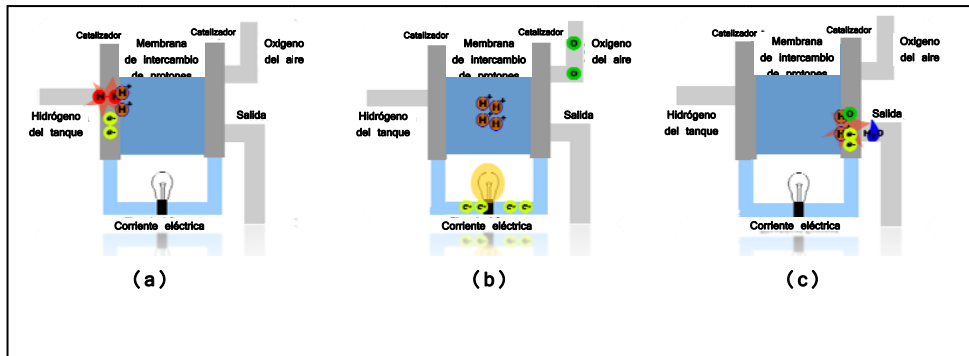


Figura 3.13 Esquema del funcionamiento de una celda de combustible. Fuente: Tomado del sitio web del *Schatz Energy Research Center* y modificado por la autora.

La base del funcionamiento de una celda de combustible consiste en tres pasos, esquematizados en la figura anterior, y que son: (a) al momento de que el hidrógeno es ionizado, pierde un electrón y al ocurrir esto, ambos (hidrógeno y electrón) toman diferentes caminos hacia el segundo electrodo. (b)El hidrógeno migra hacia el otro electrodo a través del electrolito, mientras que el electrón lo hace a través de un material conductor. (c) Este proceso producirá agua, corriente eléctrica y calor útil.

Las celdas de combustible promueven una diversidad de fuentes de energía, tales como hidrógeno, metano, etano, gas licuado (LPG), además de energías renovables (biomasa, solar o eólicas).

Existen diferentes tipos de celdas, de ácido fosfórico, alcalinas, carbonato fundido, óxido sólido y membranas de intercambio de protones (*PEM o Proton Exchange Membrane*). Las aplicaciones de estas celdas en el ámbito de la construcción están en la parte de cogeneración (uso combinado de calor y electricidad), sobretodo con celdas PEM que trabajan a temperaturas relativamente bajas (80°C), tienen una densidad de potencia alta, pueden variar su salida rápidamente para satisfacer cambios en la demanda de potencia y son adecuadas para aplicaciones donde se requiere una demanda inicial rápida.

3.8 Edificios Inteligentes y Sistema de Control de Energía

Un sistema de control de energía (*EMS o Energy Management System*) de un edificio consiste en una computadora cuyo software controla el consumo de energía de todo el equipo eléctrico con el fin de asegurar la operación eficiente y eficaz de los sistemas eléctricos del edificio. De aquí nace el concepto de edificio inteligente en el cual se incorpora el concepto de EMS a un sistema de intercambio de información y DDC que otorgará un ambiente más productivo y flexible. En cada zona del edificio, un sistema de automatización del edificio se conectará por banda ancha con todos los equipos de telecomunicación, sistemas HVAC, sistemas de incendios, iluminación, sistemas eléctricos de emergencia, de seguridad, y demás equipo eléctrico del edificio para lograr una integración y programación de todo el sistema eléctrico.

Por otra parte, mediante el uso de controles digitales (DDC) se obtendrá un funcionamiento más óptimo de los sistemas HVAC bajo las diferentes condiciones de demanda a lo largo del día. Además, con la ayuda de sistemas de control de temperatura y humedad, los DDC permitirán la integración de información de calidad del aire y niveles de dióxido de carbono. Los sistemas digitales pueden procesar y almacenar información, y administrar complejas interrelaciones entre los componentes y sus sistemas. El control de los sistemas de iluminación también se puede lograr mediante controles digitales y permitir el control personalizado de la iluminación por parte de los ocupantes.

Algunos de los sistemas principales que integran un edificio inteligente son: uso de fibra óptica, acceso a internet inalámbrico en todo el edificio, conexión de banda ancha, accesibilidad satelital, red de servicios digitales integrados, plantas de energía, red de video/voz y datos, sistemas HVAC de alta eficiencia energética, sistemas de iluminación automáticos, elevadores inteligentes que agrupen a pasajeros con base en una designación de pisos, sensores automáticos para ahorro de agua, directorios computarizados e interactivos del edificio, entre otros. De ahí que un edificio inteligente es un concepto que indudablemente está integrado dentro del diseño de un edificio sustentable de alto rendimiento.

CAPÍTULO 4. CRITERIOS DE SUSTENTABILIDAD EN EL USO DE AGUA

El agua constituye el elemento más importante para la supervivencia de los seres vivos siendo la base de diversos procesos metabólicos en el cuerpo. Sin embargo, debido a la creciente población humana, contaminación y calentamiento global, el suministro de este recurso está en peligro.

Al analizar la distribución de agua en la Tierra, se sabe que ocupa tres cuartas partes de la superficie del planeta, hecho que da la falsa idea es un recurso inagotable, sin embargo, solo un tres por ciento de ella es agua dulce, de la cual, el 68.7 por ciento está retenida en casquetes polares o en glaciares, el 30.1 por ciento se encuentra en depósitos subterráneos y solo un 0.3 por ciento se encuentra disponible para consumo humano.

De acuerdo con el Reporte sobre el consumo mundial del agua de la UNESCO (2003), se indica que “en los próximos 20 años, la cantidad de agua disponible para todos decrecerá en un 30%” y que “el 40% de los habitantes del mundo actualmente no tienen la cantidad mínima necesaria para el mínimo aseo.”²⁴

Ahora bien, en los edificios, el agua se usa para diferentes fines, desde consumo humano, riego, limpieza, hasta para sistemas de control de incendios. Debido a este consumo, es necesario replantear el rendimiento del sistema hidrológico de un edificio para lograr un adecuado uso del recurso agua.

Al hablar del sistema hidrológico nos referimos al camino que recorre el agua dentro del edificio, desde su entrada como agua potable, hasta su salida, pasando por sistemas eficientes de distribución de agua, captación de lluvia, reciclaje, tratamiento, entre otras. El objetivo principal del diseño de un sistema hidrológico del edificio es optimizar el uso de este

²⁴ Arquitectuba.com.ar, “Agua” [en línea], 3pp, Argentina, Dirección URL: <http://www.arquitectuba.com.ar/diccionario-arquitectura-construccion/agua/> [consulta 8 de junio de 2010].

invaluable recurso, el agua, en todas las operaciones del edificio que utilicen agua. Además, el uso eficiente de este recurso implicará disminuciones en los gastos por consumo de agua y energía. En este apartado se explicarán los diferentes beneficios y componentes del sistema hidrológico del edificio.

4.1 Estrategia del Sistema Hidrológico del Edificio

Los edificios sustentables de alto rendimiento (*HPGB* o *high performance green buildings*) incorporan nuevos enfoques que hacen frente a la problemática actual del agua a través de dos de los elementos más importantes del sistema hidrológico del edificio: el suministro de agua potable y la disposición de aguas residuales.

La reducción en el consumo de agua del edificio y un replanteamiento de la estrategia de disposición de aguas residuales dentro del ambiente construido puede aumentar la cantidad de agua disponible en la red municipal de agua potable, mejorar la salud de las personas, y reducir las amenazas a los ecosistemas. Además de estos beneficios, existen otros mucho más tangibles y medibles debidos al sistema eficiente de uso del agua, como son:

- Ahorro de energía. Los ahorros en consumo de energía debidos a una reducción en la demanda necesaria para mover, procesar y tratar agua llegan a ser mayores que los del ahorro de agua en sí.
- Disminución de la producción de agua residual. El hecho de reducir el consumo del agua implicará una disminución en la producción de agua residual lo cual generará menores costos por concepto de tratamiento de aguas.
- Menor inversión en instalaciones hidráulicas. El diseñar edificios eficientes en agua reduce el costo de la infraestructura para agua potable y agua residual.
- Mayor productividad laboral. Se sabe que en las instalaciones que cuentan con un sistema de ahorro de agua, los trabajadores tienen un mejor rendimiento.
- Beneficios ambientales. El disminuir el consumo de agua resulta en un menor impacto a los sistemas naturales.
- Mayor impacto en las relaciones públicas. El proteger el ambiente es bien visto por los clientes y el público en general, lo cual le dará un valor agregado al edificio.

Al iniciar con el diseño del sistema hidrológico del edificio es muy recomendable establecer cuáles son los objetivos en cuanto a reducción de consumo de agua, por ejemplo, si se habla de un factor 10, implicará reducir a un diez porciento el consumo de agua comparado con el de un edificio tradicional. Con base en este objetivo, al presupuesto y requerimientos del

dueño se diseñará el sistema hidrológico del edificio. Los aspectos a considerar en el diseño y desarrollo de éste sistema son:

- Selección de las fuentes de agua para cada propósito. El agua potable se usará solo para aquellas actividades de consumo humano, para el caso de riego, protección contra incendios, enfriamiento, y descargas en los baños, se recomienda el uso de otras fuentes de agua tales como agua de lluvia, reciclada o tratada.
- Empleo de tecnologías que minimicen el consumo de agua para cada propósito. Esta estrategia incluye la combinación de equipos de bajo flujo (inodoros, regaderas, grifos), equipos con muy poco flujo (baños secos) y controles (sensores infrarrojos). En jardinería, la implementación de sistemas de riego por goteo²⁵ usará mucho menos agua para llegar a las raíces de las plantas que un sistema de riego tradicional con más de un 90% de eficiencia.
- Evaluación del potencial de un sistema dual de aguas residuales. Este tipo de sistema separa el agua ligeramente contaminada de lavabos, fuentes, regaderas, fregaderos y lavadoras (aguas grises) de aguas contaminadas provenientes de los inodoros (aguas negras).
- Análisis del potencial de estrategias innovadoras de tratamiento de aguas residuales. Sistemas como humedales artificiales o máquinas vivas (*living machines*) pueden ser empleados para procesar el efluente de aguas residuales.
- Aplicación de un análisis de costos del ciclo de vida (*LCC o Life Cycle Costing*) para analizar los costos y beneficios de implementar prácticas que reduzcan el consumo de agua y la producción de aguas residuales. Un análisis *LCC* que considere solo el costo del agua potable, generará periodos de retorno de inversión en un tiempo estimado de 10 a 20 años. Al incluir reducciones en la generación de aguas residuales y los costos asociados a su tratamiento nos darán un periodo más corto. Y ampliando más los alcances de este análisis, incorporando los costos de traslado de agua potable y residual, las emisiones asociadas con la generación de energía, mejoras en el rendimiento de los trabajadores, y beneficios al ambiente, el periodo de retorno de la inversión se reducirá mucho más. Finalmente, se podría incorporar el aumento del costo del agua en los próximos años.

Así, con estos datos de entrada en el análisis *LCC*, junto con otros factores de costos indirectos, deberán de resultar periodos de retorno de la inversión similares a aquellos para las medidas de conservación de energía, esto es, 7 años o menos.

²⁵ El agua aplicada mediante el método de riego por goteo se infiltra hacia las raíces de las plantas irrigando directamente la zona de influencia de las raíces a través de un sistema de tuberías y emisores (goteros).

Un ejemplo de la aplicación de estas tecnologías es el edificio *Choi* de la Universidad de British Columbia, el cual desde su inauguración en 1996, integró un sistema de cinco baños secos independientes de la red de drenaje. Estos baños necesitan ser vaciados solo cada 10 años. Noventa por ciento de los residuos son orina, que se envía a un humedal artificial para su tratamiento, mientras que los residuos sólidos son digeridos por gusanos rojos.

4.2 Estrategia para el Control de Agua en el Edificio

La estrategia básica para el suministro de agua en un *HPGB* es reducir al máximo posible el consumo de agua potable. Así que el primer paso será evaluar el potencial de usar fuente de agua no potable (agua de lluvia, gris o tratada) para reemplazar el consumo de agua potable en una amplia gama de aplicaciones. Una vez analizadas las opciones para el uso de agua no potable, el siguiente paso es reducir el consumo de agua potable y no potable en las aplicaciones del edificio. Las estrategias que pueden ser utilizadas en los edificios para minimizar el consumo de agua potable se describirán en los siguientes apartados.

4.2.1 Dispositivos de bajo flujo

Los inodoros de bajo consumo de agua son los que tecnológicamente se han desarrollado para trabajar con volúmenes de seis litros o menos de agua, menores a esa cantidad se consideran con grado ecológico. Algunos inodoros en el interior de la caja cuentan con dispositivos o válvulas que regulan la salida de agua. Para considerar a un inodoro como ahorrador, es preciso que cuente con un sistema de retención de descarga que puede ser de varios tipos:

- Cisternas con interrupción de descarga. Disponen de un pulsador único que interrumpe la salida de agua en unos casos accionándolo dos veces y, en otros, dejando de pulsarlo.
- Cisternas con doble pulsador. Permiten dos niveles de descarga de agua, cada uno de los pulsadores descarga un volumen determinado de agua, siendo las combinaciones más comunes las de tres y seis litros, para residuos líquidos y sólidos respectivamente.
- Mecanismo de descarga para cisternas. Son mecanismos que pueden adaptarse a cualquier cisterna baja y permiten convertir un inodoro en ahorrador. Son de fácil instalación. Sustituyen al mecanismo antiguo.

Existen mecanismos como los fluxómetros (de pedal o de manija) o válvulas electrónicas que suministran una descarga de 4.8 litros, reduciendo así el consumo de agua. Algunos fluxómetros de manija están acondicionados para realizar la función de un doble pulsador.

Figura 4.1



Figura 4.1 Fluxómetro de doble descarga. En el aeropuerto de Calagary, Canadá, los inodoros cuentan con la tecnología *dual-flush handle* que permite ahorrar agua, suministrando una descarga de cuatro litros si se sube la manija, y de seis litros si se baja. Fuente: Tomada por la autora.

En el caso de las regaderas, el ahorro de agua se consigue a través de diferentes mecanismos que incluyen:

- Reducción del área de difusión. La concentración de chorro de salida consigue en las duchas eficientes un considerable ahorro sin reducir la cantidad de agua útil por unidad de superficie.
- Regaderas con temporizador. Estas regaderas inician el suministro de agua en cuanto es accionado manualmente el temporizador, dejando salir agua durante un tiempo determinado con un caudal de 10 litros por minuto, generalmente.

Otro de los componentes de un baño que consume una cantidad muy importante de agua en los edificios residenciales y de oficinas son las llaves. Existen diferentes tipos:

- Monomando. La instalación de llaves monomando en uso de tipo doméstico y residencial se ha generalizado debido a su facilidad de manejo. La comodidad de manejo permite regular el caudal y la temperatura reduciendo el gasto de agua en operaciones tales como el ajuste de la temperatura.
- Regulador de caudal. La función de estos mecanismos es limitar internamente el paso del agua, de manera que al abrir al máximo el monomando, no se disponga del caudal máximo, suministrando un caudal suficiente para los usos habituales (entre 6 y 8 litros por minuto).
- Llave temporizada. Se accionan pulsando un botón y dejan salir el agua durante un tiempo determinado, transcurrido el cual se cierra automáticamente.

El uso de dispositivos electrónicos y sensores infrarrojos permite disminuir el consumo de agua, suministrando un flujo reducido (5 litros por minuto) con un tiempo máximo de uso de 1 minuto.

4.2.2 Captación de agua de lluvia

El uso de agua de lluvia en descargas de inodoros, suministro a la lavadora, riego de jardín, limpieza de autos, entre otras actividades, puede llegar a reducir el consumo de agua potable a más de la mitad, lo cual disminuye los costos por consumo de agua potable, al mismo tiempo que cuidamos este recurso tan importante.

Los sistemas de recolección de agua de lluvia son apropiados solo cuando uno o más de los siguientes factores se presenten en el proyecto:

- El agua subterránea o acuíferos son vulnerables o limitados. Los sistemas de acuíferos vulnerables son aquellos que al ser bombeados pueden amenazar importantes fuentes de agua superficial y manantiales.
- El suministro de agua subterránea esté contaminado o tenga un contenido de minerales alto lo cual implicaría un tratamiento muy caro para su uso.
- Las lluvias son un factor muy importante en la zona de proyecto (al menos 600mm de precipitación anual para considerar al agua pluvial como única fuente de agua).

Los elementos principales de un sistema de captación de agua se muestran en la Figura 4.2.

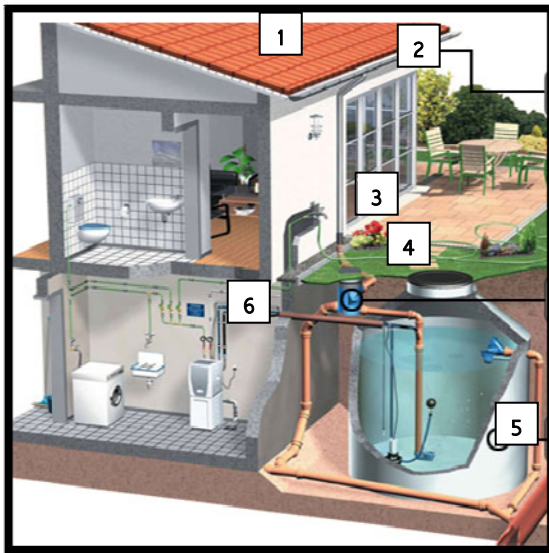


Figura 4.2 Elementos de un sistema de captación de agua pluvial.

1. Área de captación
2. Sistema de lavado del techo
3. Filtración previa
4. Sistema de conducción
5. Tanque de almacenamiento
6. Sistema de entrega

Fuente: Sitio web *BORD NA MONA Environmental Products, U.S. Inc.*

- Área de captación. La superficie de captura es el techo del edificio. Es importante que los materiales con que están construidas estas superficies, no desprendan olores, colores y sustancias que puedan contaminar el agua pluvial o alterar la eficiencia de los sistemas de tratamiento. Además la superficie debe ser de tamaño suficiente para cumplir la

demanda y tener la pendiente requerida para facilitar el escurrimiento pluvial al sistema de conducción.

- Sistema de lavado del techo. Este sistema es el que mantiene al polvo y demás microorganismos que se han depositado en el techo fuera de la cisterna. Es mucho más recomendable para sistemas que usan el agua pluvial como fuente de agua potable, aunque también es recomendable para otros sistemas, ya que mantiene contaminantes potenciales fuera del tanque de almacenamiento. Un sistema de lavado del techo está diseñado para purgar el flujo inicial de agua durante los primeros minutos de lluvia, mandando el flujo hacia un conducto diferente que el del tanque.
- Filtración previa. Consiste en un sistema de rejillas colocadas en las tuberías de recolección que evitan el paso de contaminantes que puedan dañar o disminuir la eficiencia del sistema, tales como hojas de árboles, piedras, semillas, etc.
- Sistema de conducción. Se refiere al conjunto de canaletas o tuberías de diferentes materiales y formas que conducen el agua de lluvia del área de captación al sistema de almacenamiento a través de bajadas con tuberías.
- Tanque de almacenamiento. Este elemento es el que representa el costo más alto del sistema de captación de agua pluvial. Existen diferentes materiales para su construcción como son acero galvanizado, ferrocemento, fibra de vidrio, polietileno y maderas. El tiempo de vida útil de este elemento estará en función del tipo de material. Por otra parte, el tamaño deberá satisfacer la demanda requerida. Los tanques de almacenamiento, dependiendo del material del que estén hechos, tienden a ser fuentes de captación de calor, por lo cual se recomienda pintarlos de blanco o colocarlos debajo de la superficie.
- Sistema de entrega. Para la entrega del agua al interior del edificio, generalmente, se requiere una bomba que conduzca el agua desde el tanque de almacenamiento al punto de uso.
- Sistema de tratamiento. Para proteger los sistemas de riego y bombeo, el agua debe de ser filtrada por medio de un filtro de sedimentos para eliminar partículas, preferentemente menores a las 5 micras. En el caso de los sistemas que son usados como fuente de agua potable, se necesita un tratamiento adicional para asegurar que el agua tenga la calidad necesaria para consumo humano. Esto se puede lograr mediante microfiltración, esterilización ultravioleta, ósmosis inversa u ozonificación (o combinación de estos), entre otros métodos.

El control de los sistemas de agua potable y de captación de agua de lluvia permiten un trabajo sinérgico entre ambos. Por ejemplo, cuando una toma de agua (inodoro, sistema de riego, etc.) se abre, el conmutador activa uno de los sistemas de suministro: agua de lluvia en caso de haber disponibilidad, o agua potable, en el caso contrario. Si producto de un periodo

prolongado de sequía el tanque se vacía, el interruptor de nivel ubicado en el interior de la cisterna le da automáticamente la orden a la válvula solenoidal²⁶ de activar el suministro de agua potable. Esto ocurre sin la necesidad de que el agua potable sea conducida directamente en el tanque, por el contrario, el agua es conducida a través de la misma red de suministro de agua de lluvia. Una vez que el tanque ha alcanzado el nivel mínimo de agua de lluvia, el interruptor de nivel cierra la válvula solenoidal y los aparatos son suministrados nuevamente con agua de lluvia.

4.2.3 Sistemas de aguas grises

Los sistemas de aguas grises consisten en un sistema dual que separa las aguas provenientes de los inodoros, mandándola al sistema de drenaje, de las aguas de lavabos, fuentes, regaderas, bebederos, etc. Su propósito es aprovechar las aguas grises para riego, inodoros, calefacción o aquellas actividades que no impliquen el consumo humano. Al separar ambos tipos de agua, el tratamiento que se le da es mucho menor, reduciendo el costo de su operación.

En caso de que se haya sobrepasado la capacidad de almacenamiento del tanque, se deberá tener una línea de conducción que mande el sobre-flujo a la red de drenaje. También deberá de incluirse una válvula de control que mande el agua gris al drenaje en caso de que el área a regar este muy mojada o por alguna razón que impida el uso del agua en alguna de las actividades predisuestas.

Las aguas grises no deberán de ser almacenadas por largos periodos de tiempo antes de su uso, debido a que la descomposición del material orgánico presente en el agua por microorganismos consumirá rápidamente el oxígeno disponible y las bacterias anaerobias se harán presentes, produciendo malos olores. Este tipo de agua se puede usar en cultivos de plantas de ornato, en jardines, árboles, y otras plantaciones, evitando su uso en vegetales.

²⁶ Una válvula solenoidal es un dispositivo que sirve para controlar automáticamente el flujo de fluidos en un sistema. Su funcionamiento es básicamente el mismo que una válvula de paso operada manualmente, pero accionada electrónicamente, se puede instalar en lugares remotos y puede ser controlada convenientemente por interruptores eléctricos simples. Las válvulas de solenoide pueden ser operadas por interruptores termostáticos, de flotador de baja presión, de alta presión, por reloj, o cualquier otro dispositivo que abra o cierre un circuito eléctrico

4.3 Estrategia para el Tratamiento de Agua Residual en el Edificio

Los enfoques que actualmente se están utilizando para el tratamiento de aguas residuales en edificios se basan en la naturaleza, directa o indirectamente. En un enfoque directo, el efluente de los edificios es tratado a través de humedales superficiales o sub superficiales. Desde un enfoque indirecto, la naturaleza es traída al interior del edificio y puesta en tanques por los que pasa el agua residual para ser limpiada por plantas, luz y bacterias (*living machines*).

4.3.1 Humedales artificiales

Uno de los objetivos de un edificio sustentable de alto rendimiento es una aplicación de un diseño ecológico lo más extenso posible, incluyendo la creación de una relación sinérgica entre los sistemas naturales, el edificio y los ocupantes. El usar a la naturaleza para realizar tareas, que de otra forma serían realizadas por sistemas mecánicos y eléctricos que consumirían grandes cantidades de energía, tiene varias ventajas:

- La naturaleza realiza su limpieza, regulación y organización por ella misma.
- Los sistemas naturales pueden degradar y absorber compuestos metálicos y tóxicos, convirtiéndolos en compuestos estables.
- La naturaleza es alimentada por la energía solar y la energía química almacenada en elementos orgánicos.
- Los sistemas naturales son fáciles de construir y mantener.

El uso de humedales para el tratamiento del agua residual del edificio aprovecha estas ventajas que nos ofrecen los sistemas ecológicos, ya que pueden eliminar residuos orgánicos, minimizando la necesidad de compleja infraestructura al mismo tiempo que crea nutrientes que benefician a las especies que realizan estas tareas. Los humedales artificiales pueden ser considerados como una forma de tratamiento de aguas residuales pasivo.

Los humedales eliminan contaminantes mediante varios mecanismos, incluyendo reciclaje y eliminación de nutrientes, sedimentación, disminución de la demanda biológica de oxígeno, precipitación de metales, remoción de patógenos, y degradación de compuestos tóxicos.

Los humedales artificiales, en general, son cuerpos de agua de baja profundidad que retienen temporalmente el agua y que pueden funcionar como sistemas depuradores de aguas residuales. Los humedales pueden ser contruidos de tal forma que el agua se ve en la superficie (superficiales) o cuya superficie de agua se encuentre por debajo de un lecho de piedras y prácticamente el agua no se ve (sub superficiales).

Los humedales artificiales pueden montarse a nivel de piso o sobre las cubiertas de los edificios. En esta última ubicación, realiza una triple función, aislamiento térmico, impermeabilización de la cubierta contra goteras y depuración del agua residual para volver a reutilizarla. La cubierta del edificio va recubierta por un aislante sintético semiflexible que permite la colocación de la depuradora de humedales sin ninguna filtración. La capa de aproximadamente 50cm de grosor de arenas combinadas con el agua residual forman una capa totalmente aislante del techo del edificio, impidiendo el paso de la radiación solar sobre el nivel de agua impidiendo su deterioro a la vez que el conjunto de los humedales contribuye a la depuración de cualquier tipo de agua residual.

Los humedales a nivel de piso también representan una buena opción para el tratamiento de aguas residuales, siempre y cuando se disponga del área necesaria para cubrir la demanda.

El primer paso en el tratamiento del agua por medio de humedales es la llegada del agua al tanque séptico cuya función es recibir las aguas residuales y sedimentar los sólidos gruesos y finos de tal forma que éstos ya no aparecen en la descarga del tanque. Igualmente proveen de una primera fase de tratamiento ya que en este tanque crecen bacterias que comienzan a degradar la materia orgánica. Posteriormente se pasa el agua por un filtro anaerobio de flujo ascendente con la finalidad de remover una gran parte de la materia orgánica aun contenida en el agua residual y finalmente se pasa por gravedad o por bombeo, dependiendo de la topografía del terreno, a un humedal sub superficial cuya finalidad es la de terminar el proceso de degradación con bacterias aerobias y anaerobias, oxigenar el sistema y remover la mayor parte de los patógenos. El principio de construcción de este tipo de humedales se muestra en la Figura 4.3.

El sistema de humedales es muy sencillo de construir, su apariencia es de un jardín alto, se integra al paisaje, no despiden olores ofensivos, es un proceso totalmente natural compatible con la producción de plantas ornamentales y estéticas, además de que los costos de inversión, operación y mantenimiento están por debajo de los de una planta de tratamiento convencional.

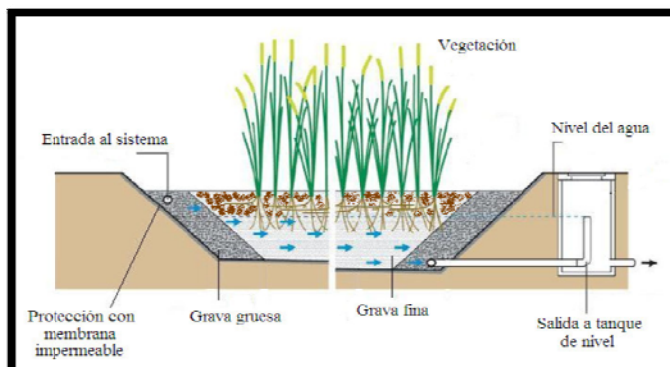


Figura 4.3 Corte transversal esquemático de un humedal artificial.

Fuente: Sitio web de *Tecnologías para Protección Ambiental S.A. de C.V.*

El consumo energético necesario para todo el proceso de reciclado constará únicamente en la alimentación de la bomba de agua que lleve el agua desde el depósito de la planta baja hasta la cubierta del edificio.

4.3.2 Máquinas vivas

Además de usar humedales artificiales, la naturaleza puede ser llevada directamente al interior de los edificios para allí tratar el agua residual descomponiendo los compuestos que la integran, esto se realiza a través de las máquinas vivas o *living machines*. Las características principales de éste sistema de tratamiento son:

- La mayoría de sus componentes son organismos vivos, incluyendo cientos de especies de bacterias, plantas, y vertebrados como peces y reptiles.
- Tiene la capacidad de auto-regular su funcionamiento en función de la cantidad de nutrientes y energía que se le suministre.
- Puede repararse por sí misma cuando se ha dañado a causa de sustancias tóxicas o cuando existe una inesperada interrupción de sus fuentes de energía y de nutrición.

Uno de los más claros ejemplos de la viabilidad de una Living Machine en un edificio de oficinas es la que se encuentra en el atrio del *EcoCentre*, en South Florida, EU. (Figura 4.4).



Figura 4.4 *Living Machine*, edificio *EcoCentre*. El sistema cuenta con 14 metros cuadrados los cuales ayudan a reciclar y ahorrar más de 757 mil litros de agua por año. Este sistema de tratamiento constituye la atracción principal de un promedio de 25 tours semanales dentro del edificio.

Fuente: Sitio web *Warrell Water Technologies*

4.4 Estrategia para el Uso Eficiente del Agua en Jardinería

Alrededor del 30% del agua para uso residencial es destinada para uso exterior, del cual el 91% corresponde al riego de jardines y áreas verdes. La práctica del *Xeriscape* es un enfoque que ayuda a disminuir éste consumo en la jardinería. El término *Xeriscape* hace referencia a la conservación del agua, a jardinería resistente a la sequia, o simplemente al uso de la planta adecuada en el lugar adecuado con mantenimiento apropiado y riego medido. Existen siete principios característicos de ésta práctica:

- 1) Planeación y diseño cuidadoso.
- 2) Selección de la planta adecuada para el área apropiada.
- 3) Determinar los niveles de acidez y pH del suelo.
- 4) Ubicar las áreas prácticas de césped.
- 5) Regar eficientemente de acuerdo a los requerimientos de cada planta.
- 6) Usar virutas de corteza de árbol (*mulch*) que evitaren el crecimiento de hierba y retendrán la humedad.
- 7) Proporcionar un mantenimiento adecuado al jardín.

La práctica del *Xeriscape* que incorpora rocas, arbustos y plantas locales, puede ser complementada con el sistema de riego por goteo obteniendo reducciones de hasta 70% en el consumo de agua usada para jardinería.

CAPÍTULO 5. CRITERIOS DE SUSTENTABILIDAD EN EL USO DE SUELO Y PAISAJE

En una obra civil, el uso de suelo y el diseño del paisaje conforman un recurso que permite la innovación e integración de una edificación con el ambiente.

Los objetivos principales en materia de suelo y paisaje son: optimizar el uso del sitio integrándolo con el ambiente local tomando en cuenta la geología, topografía, incidencia solar, y patrones del viento en el sitio de manera que se minimicen los impactos durante las diferentes etapas del proyecto, empleando el paisaje como parte de los sistemas técnicos del edificio.

El suelo y el paisaje representan dos elementos que pueden ser aprovechados no solo para hacer sustentable el proyecto, sino también para restaurar el suelo del sitio. Los enfoques actuales en cuanto a las edificaciones sustentables, involucran la reutilización del suelo, su limpieza en caso de estar contaminado y la disminución en el uso de tierras fértiles y/o vírgenes (*greenfields*). El hecho de construir sobre un suelo que ya ha sido afectado por la actividad humana (*brownfields* y *grayfields*) tiene la doble ventaja de mejorar el medio ambiente local y reutilizar el suelo.

Otro punto a cuidar es la minimización de los impactos del proyecto tales como la degradación del suelo y la destrucción de hábitat animal y vegetal.

5.1 Elementos Sustentables en Edificaciones

Los edificios requieren el uso de diversos tipos de recursos para su creación y operación: materiales, energía, agua y suelo. El suelo representa un recurso muy importante en el desarrollo sustentable, por lo que se buscará aprovecharlo de la manera más óptima posible. Algunos de los enfoques que permiten lograr este objetivo son:

- Construir en un suelo que haya sido previamente utilizado, evitando usar suelo ecológicamente valioso.
- Proteger, preservar y aprovechar humedales y otros elementos claves en los ecosistemas existentes en el sitio, integrándolos en la edificación.
- Usar vegetación local o aquella cuyas demandas de agua sean mínimas.
- Rehabilitar suelos contaminados y áreas que alguna vez fueron de uso urbano.
- Analizar la posibilidad de reutilizar los edificios existentes en lugar de construir uno nuevo.
- Poner gran énfasis en el diseño pasivo.
- Minimizar las superficies impermeables en el sitio a través de una ubicación apropiada del edificio, estacionamiento, y otras áreas pavimentadas.
- Utilizar tecnologías de captación de agua como pavimentos impermeables y sistemas de bioretención que permitan la recarga de los acuíferos.
- Minimizar áreas puntuales con una alta carga de energía calorífica (efecto isla de calor) mediante el uso de colores claros en pavimentos, techos y muros, así como el desarrollo de azoteas verdes.
- Eliminar la contaminación luminosa a través de un diseño cuidadoso de los sistemas de iluminación exterior.

Estos enfoques cubren una diversa gama de posibilidades que permitirán la integración de la naturaleza a las edificaciones, reutilización de suelos dañados por la actividad humana y minimización de los impactos al ecosistema causados por el proyecto de construcción.

5.2 Aspectos de Uso del Suelo

La selección de la ubicación del edificio es generalmente hecha por el propietario del edificio, sin embargo, puede ser orientada por las recomendaciones del equipo de proyecto. Tal fue el caso del Rinker Hall (edificio LEED certificado con el nivel Oro) de la Universidad de Florida, el cual inicialmente sería construido en un área verde (usada para recreación de los estudiantes) y que al final, tras la recomendación del equipo de proyecto, fue construido en una zona que había sido usada como estacionamiento, logrando así reutilizar el suelo y preservar las áreas verdes del campus.

En el caso de la selección del sitio se buscará:

- Disminuir el uso de terrenos fértiles
- Reutilizar suelos dañados previamente por la actividad humana
- Evitar el asentamiento en zonas de alto riesgo

- No construir en zonas que sean hábitat de especies en peligro de extinción
- Facilidad de acceso a la zona de proyecto

5.3 Control de Erosión y Sedimentos

El control de erosión de la tierra y la sedimentación serán un elemento importante a analizar para asegurar el rendimiento óptimo de los sistemas de captación de agua ubicados a nivel de suelo, tales como humedales o pavimentos permeables. El objetivo principal es evitar que el flujo laminar del agua erosione la tierra lo cual propiciará el transporte de sedimentos en la zona de proyecto.

Algunas de las prácticas de control de la erosión y de sedimentos son:

- Diseñar el proyecto de tal forma que se adapte a las condiciones del sitio como topografía, suelo, vegetación y patrones de flujo del agua.
- Minimizar el área de remoción de la cubierta vegetal natural del sitio.
- Evitar el tiempo en que el suelo este expuesto a corrientes de aire y agua.
- Disminuir la cantidad de suelo expuesto.
- Proteger el suelo del impacto de la lluvia o escurrimientos usando vegetación temporal o permanente, virutas de corteza de árbol (*mulch*), cunetas y franjas de protección vegetales, capas artificiales de control de erosión, entre otros.
- Desviar los flujos de agua de las áreas expuestas.
- Evitar la entrada de flujo de agua externo al área de proyecto.

Este tipo de prácticas para el control de la sedimentación y erosión conforman prerrequisitos para la certificación LEED-NC, lo cual significa que un plan de control es necesario para que un edificio sea tan solo considerado para certificarse.

5.4 Paisaje Sustentable

Un paisaje sustentable es aquel que al mismo tiempo que contribuye con el bienestar del ser humano está en armonía con el medio ambiente. Este tipo de paisaje no agota ni daña otros ecosistemas. Es así que mientras que la actividad humana altera los patrones de la naturaleza, el paisaje sustentable trabaja en sinergia con éstos patrones en términos de su estructura y funciones. De esta forma se conservan recursos valiosos como agua, suelo y energía manteniendo la diversidad de las especies.

Los principales elementos que caracterizan un paisaje sustentable, basados en la función y organización de los paisajes naturales, se mencionan a continuación.

- Uso de energías renovables de baja intensidad en forma de luz solar, viento y agua movida por gravedad, además de energía fijada por plantas, de manera que su regeneración no produzca desestabilización ecológica.
- Maximización del reciclaje de recursos, nutrientes y subproductos, y minimización de producción de residuos.
- Conservación de la estructura y función del ecosistema local, y protección de la diversidad y estabilidad de los ecosistemas circundantes.
- Apoyo y preservación de las comunidades locales en lugar de cambiarlas o destruirlas.
- Incorporación de tecnologías que respaldan estos objetivos y que toman a la tecnología como un apoyo secundario, no como primario y dominante.

Estas prácticas si bien son básicas en la sustentabilidad del paisaje, es claro que sin valores sustentables, un paisaje que este diseñado para ser sustentable será mal empleado, convirtiéndose en no sustentable, y fallará.

Los principios en los que se fundamenta el paisaje sustentable son:

Principio 1. Mantener los sitios saludables. Asegurar que los sitios productivos biológicamente no están ni serán dañados por el proyecto. Se debe tener cuidado especial en la instalación de servicios públicos y construcción de carreteras, que representan actividades que pueden destruir los ecosistemas naturales.

Principio 2. Restaurar los sitios dañados. El uso de *browfields* y *grayfields* reducen el uso de *greenfields* y sitios productivos biológicamente logrando una restauración en los ecosistemas dañados volviéndolos productivos nuevamente.

Principio 3. Escoger materiales vivos. La erosión en terrenos con pendientes muy pronunciadas puede ser controlada con sistemas naturales, como son los muros verdes. Para el caso de techos, se puede optar por las azoteas verdes, las cuales además de ser una fuente de oxígeno, ayudan a aislar el edificio disminuyendo las cargas de calefacción y enfriamiento.

Principio 4. Respetar los cuerpos de agua. Los cuerpos de agua, incluyendo humedales, deben de ser protegidos y restaurados. El agua de lluvia puede ser recolectada de los techos para después ser usada para riego. El diseño de la vegetación del paisaje deberá cuidar el consumo de agua, demandando cantidades de agua razonables.

Principio 5. Pavimentar menos. El pavimento destruye los sistemas naturales por lo que debe ser minimizado. El agua de lluvia puede infiltrarse por medio de pavimentos de concreto permeable y adoquines.

Principio 6. Considerar el origen y destino de los materiales. Minimizar el impacto de los materiales del paisaje mediante el análisis de su energía incorporada y otros efectos. Enfatizar el reciclaje y reutilización de materiales y evitar materiales tóxicos.

Principio 7. Conocer los costos de la energía a lo largo del tiempo. La construcción del paisaje requerirá energía en forma de maquinaria y otros aparatos, de ahí que sea necesario disminuir los consumos de energía a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Principio 8. Iluminar solo donde sea necesario. Los esquemas de iluminación del paisaje no deben de afectar los procesos naturales de la vegetación. La intensidad de la luz será acorde con las necesidades del paisaje, no se debe de sobre iluminar ya que de esa forma se desperdicia energía y se contamina el ambiente.

5.5 Jardín Vertical

Cuando a una planta se le permite que sus raíces crezcan, pueden llegar a penetrar material sólido, como muros y superficies de concreto, destruyéndolo. Este daño puede ser prevenido si las plantas reciben agua regularmente, haciendo que las raíces se dispersen en la superficie, dejando la parte interna del muro intacta.



A partir de estas observaciones, y en busca de un sistema de cubierta vegetal en las paredes de los edificios con un mantenimiento mínimo, Patrick Blanc concibió el “Jardín Vertical” (Figura 5.1). La principal innovación de este sistema es aprovechar la capacidad de las raíces de crecer no solo en un volumen (de suelo, arena y agua) si no, también en superficie.

Figura 5.1 Museo de la calle Branly, París. Este museo diseñado por el arquitecto francés Jean Nouvel, integra el innovador enfoque de Patrick Blanc en el jardín vertical que caracteriza la fachada de ésta edificación. Fuente: Sitio web *Vertical Garden*.

El Jardín Vertical puede construirse en interiores. En este caso, generalmente se necesita iluminación artificial. También es posible tener un Jardín Vertical en áreas completamente cerradas, sin iluminación natural, como es el caso de estacionamientos subterráneos.

El agua para este tipo de jardín se suministra por la parte superior dando así la oportunidad de usar el agua del sistema de captación de aguas pluviales para su riego. Por otra parte, independientemente de la procedencia del agua de riego, deberá de suministrarse nutrientes adicionales. Tanto el riego como la fertilización están automatizados.

La selección de plantas es hecha principalmente en función de las condiciones climáticas del sitio. El Jardín Vertical está compuesto de tres elementos principales:

- 1) Marco de metal. Es colgado sobre la pared o se puede parar solo. Proporciona una capa de aire, actuando como un muy eficiente sistema de aislamiento térmico y acústico.
- 2) Lámina de PVC (1cm). Es sujeta al marco de metal. Esta capa le da rigidez a la estructura además de hacerla resistente al agua.
- 3) Capa de fieltro de poliamida. Es engrapada al PVC. Esta capa evita la descomposición de las plantas gracias a su gran capilaridad que permite una distribución homogénea del agua. Las raíces crecen en esta capa.

Las plantas son colocadas en la capa de fieltro en forma de semillas, tallos o plantas ya maduras. La densidad es de alrededor de treinta plantas por metro cuadrado. El peso total de un Jardín Vertical, incluyendo plantas y estructura, es menos de 30kg por metro cuadrado, lo que permite su instalación prácticamente en cualquier muro.

5.6 Sistemas de Control de Agua Pluvial

La transformación del medio ambiente a causa de la urbanización ha conducido a la destrucción, relleno y pavimentación de algunos cauces de agua naturales, afectando la cantidad y flujo del agua pluvial a lo largo de la superficie de la Tierra. El hecho de cubrir paisajes naturales con edificios e infraestructura reemplaza importantes superficies permeables con materiales impermeables, incrementando el volumen y velocidad de flujo del agua en estas áreas. Las consecuencias más visibles de esta transformación son el aumento del peligro de inundaciones (debido a que las aguas pluviales no tienen una vía de salida natural) y el aumento en la cantidad de contaminantes en el agua pluvial a lo largo de su recorrido, tales como pesticidas, aceite de motores y metales pesados derramados en jardines, aceras, carreteras y estacionamientos.

Por otra parte, existen ecosistemas como los humedales, cuya función principal es almacenar temporalmente avenidas importantes de agua de lluvia para posteriormente regresarla de manera controlada a los cuerpos de agua y acuíferos. De ahí que uno de los objetivos de la edificación sustentable está dirigido al control de aguas pluviales enfatizando la protección de los ecosistemas cercanos y la preservación del carácter impermeable del suelo.

Los sistemas de control de agua pluvial en un ámbito del paisaje incluyen tecnologías que capturan, limpian, reciclan e infiltran el agua en sitio. Estos sistemas incluyen azoteas verdes, concretos permeables y sistemas de bioretención, entre otros. Estas medidas constituyen elementos importantes para la recarga de mantos acuíferos y cuerpos de agua, reducción de la velocidad de flujo del agua, y restauración de ecosistemas tanto terrestres como acuáticos.

5.6.1 Azoteas Verdes

Las azoteas verdes son una alternativa para contar con hábitats urbanos alternativos preservando la biodiversidad, generando un nuevo equilibrio entre áreas edificadas y recursos paisajísticos tanto a nivel de cada edificio como en la totalidad de la ciudad. Estas azoteas son una solución ante la pérdida de las áreas verdes en las zonas urbanas y una opción ecológica para mejorar la calidad del aire.

Entre algunos de los beneficios que proporcionan los techos verdes podemos mencionar:

- Reducción de un 40 por ciento el consumo de aire acondicionado en un edificio por año debido a su función de aislante térmico.
- Aumento del valor de los inmuebles. Guadalupe Orozco Velazco, líder del proyecto del banco HSBC, declaró que “los beneficios ambientales que generan las azoteas verdes aumentan 15% el valor del inmueble”.
- Captura partículas suspendidas en el aire, como el plomo. Las cuales son fijadas en la planta para no reincorporarse a la atmósfera otra vez.
- Intercambio de oxígeno y dióxido de carbono a través del proceso de la fotosíntesis.
- Disminución del efecto isla de calor. A través de la absorción de calor y su evaporación, las azoteas verdes evitan que el inmueble se caliente y refleje el calor hacia su interior. Por lo que si todas las azoteas fueran de éste tipo, generarían una disminución en la temperatura de una ciudad haciéndola más templada.
- Retención del agua pluvial para su posterior aprovechamiento para riego y otras actividades dentro del edificio que no impliquen consumo humano.
- Disminución de los problemas de drenaje debido a su saturación por las aguas pluviales.

Los elementos que conforman un techo verde se muestran en la Figura 5.2



Figura 5.2 Capas que integran un sistema de azotea verde. Fuente: Tomado del sitio web *VeolVerde* y modificado por la autora.

Existen tres tipos de sistemas de azoteas verdes dependiendo del tipo de plantas a colocar.

- Extensivos. Incorporan plantas que requieren un mantenimiento mínimo.
- Semi-intensivos. Combinan la vegetación de las técnicas intensivas y extensivas y su mantenimiento también es igual al de un jardín.
- Intensivos. Incorpora pequeños arbustos, flores, árboles y pasto. Requiere un mantenimiento igual al de un jardín convencional.

5.6.2 Concreto Permeable

El concreto permeable es un tipo especial de concreto con una alta porosidad, usado para aplicaciones en superficies de concreto que permitan el paso de agua (proveniente de precipitación y otras fuentes) a través de él (Figura 5.3). La mezcla está compuesta por cemento, agregado grueso, agua, aditivos y poco o nada de agregados finos. Éste concreto tiene una resistencia a la compresión de alrededor de 300 kg/cm², y una resistencia a la flexión hasta de 60 kg/cm². Su relación agua vs materiales cementantes es de 0.35 a 0.45 con una relación de vacíos de 15 a 25%.

Este tipo de concreto es muy sensible a las variaciones en la cantidad de agua, por lo que un volumen correcto de agua es fundamental. Una gran cantidad de agua causaría la segregación de la mezcla, mientras que poca agua produciría la formación de conglomerados y una descarga muy lenta, además de impedir el curado apropiado del concreto induciendo una falla superficial prematura. De ahí que se requiera un ajuste de la mezcla fresca en sitio.

El concreto permeable funciona como una laguna de retención de agua de lluvia, disminuyendo el escurrimiento superficial en áreas pavimentadas, reduciendo las dimensiones del sistema de alcantarillado y por ende sus costos. Por otra parte, éste material filtra de manera natural el agua de lluvia reduciendo las cargas de contaminantes que llegan a cuerpos de agua y acuíferos.



Figura 5.3 Concreto Permeable. La porosidad de éste material se debe a su alta relación de vacíos que hacen del concreto permeable una opción ecológica para pavimentar sin disminuir notablemente la permeabilidad del sitio.
Fuente: Sitio web *Concreto Permeable*

El uso de concretos permeables, con los sistemas constructivos adecuados permite la recarga de los mantos acuíferos, la eliminación de charcos y baches además de reducir la temperatura de la superficie (mitigando el efecto isla de calor). La aplicación de esta práctica se recomienda en áreas de estacionamiento, de poco tránsito, pasos peatonales e invernaderos.

En cuanto al color de éste material, se le puede añadir colorantes para integrarlo mejor al diseño de la edificación. En el caso de que no llevar colorante, el concreto tendrá el color del agregado grueso.

5.7 Sistemas de Bioretención

Los sistemas de bioretención tienen como una de sus características principales el uso del ecosistema natural para realizar las funciones de cauces, o cuencas, a fin de controlar los escurrimientos en zonas donde la superficie impermeable ha crecido debido a actividades de edificación de infraestructura. Por otra parte, ayuda a controlar la cantidad y calidad del agua aprovechando las propiedades físicas, químicas y biológicas de las plantas y del suelo para la remoción de contaminantes de los escurrimientos de agua pluvial.

Algunos de los procesos que se llevan a cabo en los sistemas de bioretención incluyen: sedimentación, adsorción, filtración, volatilización, intercambio iónico, descomposición, fitorremediación, y almacenamiento.

Los sistemas de bioretención (Figura 5.4) que se pueden aplicar en edificios están constituidos por microreservorios de retención temporal de escurrimientos, dispuestos eficientemente en la zona de desarrollo, como son jardines de lluvia y cuencas de retención.



Figura 5.4 Sistemas de bioretención. Jardín de lluvia (izquierda) y cuenca de retención (derecha).

Fuente: *Prairie Fire Newspaper*

- Jardines de lluvia

Un jardín de lluvia es una depresión poco profunda en la tierra (20-40cm), en un suelo permeable con plantas o árboles perennes locales, y cubiertos de una capa delgada (8cm) de *mulch*. Este tipo de jardín captura los escurrimientos de agua pluvial proveniente de superficies impermeables tales como azoteas y caminos, permitiendo que se infiltre en la tierra en lugar de drenarla en alcantarillas o canales. Un jardín de lluvia deberá localizarse donde el agua de lluvia pueda ser desviada hacia él y lejos de los cimientos del edificio. Se recomienda un área de jardín de lluvia del 10 al 15% del área de azoteas.

- Cuencas de retención

Son depresiones poco profundas ubicadas a las orillas de las carreteras o de estacionamientos cuya función es capturar los escurrimientos de éstas superficies para después almacenarlos para su reutilización. Este tipo de sistema puede ser visto como un tratamiento primario del agua pluvial. Las capas de la cuenca de retención que capturan y filtran los escurrimientos del agua pluvial se muestran en la Figura 5.5

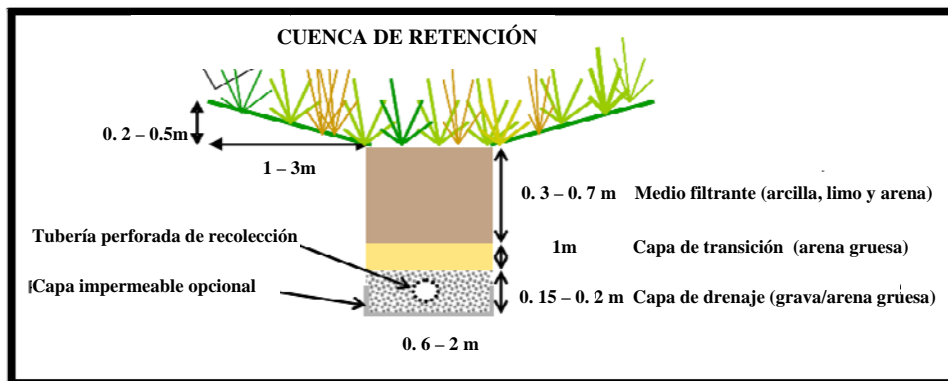


Figura 5.5 Corte transversal de una cuenca de retención.

Fuente: Sitio web *Bioretention*

Las cuencas de bioretención son particularmente eficientes en la remoción de nutrientes y disminución de la velocidad de flujo del caudal de lluvia.

Algunos de los aspectos a considerar en el diseño de una cuenca de retención son: asegurar un flujo laminar, distribuir de manera uniforme el caudal a lo largo de la cuenca, analizar la instalación de dos colectores (separación entre ambos <1.5m) para capturar la máxima infiltración posible, en caso de que el diámetro de partícula del medio filtrante sea hasta 10 veces menor al de la capa de drenaje no se necesitará capa de transición por lo que su espesor será de 1.20m.

El área superficial que se recomienda para estas cuencas es del 10 al 15% del área de suelo impermeable.

5.8 Mitigación del Efecto Isla de Calor

Un aspecto que generalmente no es considerado en el diseño del paisaje y uso de suelo, pero que es algo que se debe tener en cuenta en un edificio sustentable de alto rendimiento es el efecto de isla urbana de calor. Este efecto es un fenómeno en el que áreas urbanas y suburbanas tienen una temperatura considerablemente más elevada que las áreas rurales que las rodean (de 1°C a 6°C). El resultado es que las cargas de enfriamiento serán mayores en las zonas urbanas que en las rurales, lo que implica que se necesitará mayor energía para satisfacer dicha demanda implicando mayor contaminación del aire, más impactos por extracción de recursos y por lo tanto mayores costos. El hecho de reducir el efecto de la isla de calor contribuye a reducir estos efectos negativos resultando en un ambiente urbano más agradable.

Las islas de calor son causadas por la remoción de vegetación para en su lugar colocar carreteras de concreto y asfalto, edificios, y otras estructuras. Esto debido a que el efecto de sombra de los árboles y la evapotranspiración, o enfriamiento natural, de la vegetación son remplazadas por estructuras que almacenan y liberan energía calorífica. Los efectos de la isla de calor pueden reducirse a través de diversas medidas entre las que podemos mencionar las siguientes:

- Instalar azoteas con una alta reflectividad de la energía solar o con jardines.
- Plantar cerca de casas y edificios árboles que den sombra para reducir la temperatura del aire.
- Usar materiales de colores claros, donde sea posible, para reflejar la radiación solar en lugar de absorberla.

5.9 Reducción de la Contaminación y Traspaso Lumínico

El desarrollo de las ciudades ha traído consigo diferentes efectos negativos, como el traspaso y contaminación lumínicos, debidos al mal control y manejo de los sistemas de iluminación.

El primer efecto, es el traspaso lumínico, el cual hace referencia a la luz indeseable proveniente de una propiedad cercana. Esto se debe a que generalmente, los sistemas de iluminación exterior en edificios, además de realizar su función principal de iluminar los edificios, pasillos y áreas de estacionamiento, iluminan áreas fuera de sitio, es decir, donde no se necesita. Este efecto puede causar problemas de seguridad vial, cuando se refleja en los automovilistas; ecológicos, al alterar las rutas de migración de ciertas aves; y de salud humana, al interrumpir los ciclos normales diarios de luz necesarios para el bienestar de las personas.

El segundo efecto, es la contaminación lumínica, la cual se refiere a la emisión de flujo luminoso de fuentes artificiales nocturnas en intensidades, direcciones, rangos espectrales u horarios innecesarios para la realización de las actividades previstas en la zona en que se instalan las luces. Esto impide la observación del cielo nocturno por la población en general y astrónomos.

La solución para estos dos efectos mencionados es un diseño adecuado del sistema de iluminación. La ubicación, altura de montaje y características de performance de las luminarias exteriores son elementos que deben de tomarse en cuenta para asegurar que la energía luminosa está siendo usada eficientemente para los propósitos deseados. Algunas de las medidas para prevenir ambos efectos son:

- El alumbrado de la calle y del área de estacionamiento deberá ser diseñado para minimizar la dispersión de luz hacia la parte superior (zona donde no requiere iluminación) del equipo de iluminación.
- La iluminación de los señalamientos y del exterior del edificio deberá ser reducida o apagada cuando no se necesite.
- La modelación asistida por computadora de los sistemas de alumbrado exterior deberá ser usada para diseñar el nivel y calidad exactos de iluminación que satisfagan los requerimientos del proyecto sin desviarse fuera del sitio causando condiciones indeseables.

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 tira²⁷.

²⁷ 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 ácida²⁸ (seca y húmeda)

²⁸ 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 LCC²⁹, 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.

²⁹ 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 energía³⁰ y las emisiones de dióxido de carbono³¹ durante la producción del cemento portland³². 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:

³⁰ 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.

³¹ Estas emisiones representan el 5% de las emisiones de CO₂ a nivel mundial.

³² 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 amoniaco.	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, deposición³³ 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.

³³ 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 nanolistones 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 tablones, 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, furanos³⁴ 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.

³⁴ 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.

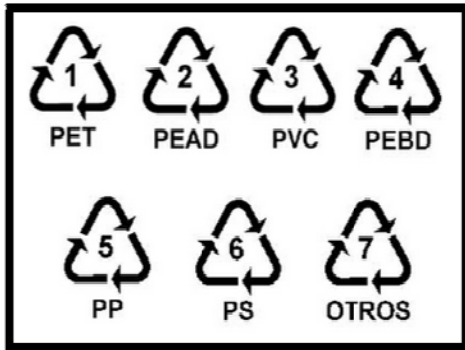


Figura 6.2 Codificación de los plásticos.

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.
Polietileno de alta densidad (PEAD) Clasificación: #2	84.4	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.
Polietileno de baja densidad (PEBD) Clasificación: # 4	78.1	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.
Polipropileno (PP) Clasificación: #5	115.1	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.
Cloruro de Polivinilo (PVC) Clasificación: #3	95.1	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.
Poliestireno (PS) Clasificación: #6	88.6	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.
Acrilonitrilo-butadienestireno (ABS) Clasificación: #ABS	95.3	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.

Fuente: Meg Calkins, Materials for Sustainable Sites 2009

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 reprocesados 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.

CAPÍTULO 7. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS PROYECTOS DE EDIFICACIÓN SUSTENTABLE

Entender los aspectos económicos involucrados en un proyecto de ingeniería civil es muy importante, y más aun cuando se trata de un edificio sustentable debido a que la justificación de este enfoque puede involucrar un análisis, de alguna manera, más complejo comparado con el de un edificio tradicional. Los edificios sustentables de alto rendimiento tienen un enorme potencial en cuanto a beneficios para sus propietarios, al ambiente y a la sociedad en general se refiere. Algunas de las áreas en las que se presentan estos beneficios son: energía, agua potable y residual, salud y productividad, operación y mantenimiento, emisiones tóxicas, etc. Según el Consejo Mundial de Construcción Sustentable los edificios certificados ahorran, en promedio, 40% en consumo de agua, 30% en energía, y de 50 a 75% en residuos de construcción. La habilidad para cuantificar, expresar y sustentar estos beneficios en un análisis económico es un factor vital para la determinación de la sustentabilidad del proyecto a lo largo de sus etapas, así como para su aprobación por parte del propietario y demás agentes financieros. Para esto, el equipo de proyecto se ayudará de herramientas de simulación, metodologías, investigaciones y datos de otros proyectos, entre otros.

El diseño de un edificio sustentable de alto desempeño deberá ponderar cuestiones de ahorro de energía y agua, reducción de emisiones y calidad interior del aire, con aspectos como la factibilidad de la implantación de las estrategias, competitividad en el mercado, diseño flexible, calidad, durabilidad y mantenimiento. Estos aspectos son de gran importancia, dado que aseguran la sustentabilidad del proyecto en sus tres sentidos, ambiental, social y económico.

Por ejemplo, el hecho de que un material o producto amigable con el ambiente tenga una vida útil de la mitad o una tercera parte, o menor calidad, con respecto a otro material análogo, hará que se prefiera ésta última alternativa, a pesar de que la primera tiene menor impacto ambiental.

Esto es porque un periodo de vida útil corto y menor calidad implicarán un remplazo periódico del elemento y por lo tanto una inversión respectiva la cual aumentará los costos operativos del edificio, resultado totalmente opuesto a las metas de un edificio sustentable. Otro ejemplo es el que relaciona el valor del edificio en el mercado con su diseño flexible (capacidad de adaptación). Esto es, un edificio sustentable que está diseñado para facilitar el desmontaje de sus elementos tiene la ventaja de que en un futuro, cuando el cliente o el propietario así lo deseen, el costo de la remodelación (cambio en la distribución del espacio, posibles expansiones, etc.) será mucho menor comparado con un edificio tradicional, lo cual representa un valor agregado al inmueble que atraerá la atención del cliente dado que se puede adaptar a sus necesidades. Y si a esto le agregamos, una de las características fundamentales de los edificios sustentables como lo es, la reducción de los costos operativos a lo largo de la vida útil del edificio, su plusvalía aumentará considerablemente. De ahí que, aunque en ocasiones, los costos iniciales de este tipo de edificios sean mayores (de 2% a 7%, en E.U.) a los de un edificio tradicional, el propietario o futuros clientes estarán dispuestos a asumir dicha inversión extra sabiendo que los gastos durante el ciclo de vida del edificio se reducirán lo que resultará en un aumento de sus utilidades.

De acuerdo con la revista *Real State Market*, en México, la mayoría de los ejecutivos involucrados en proyectos de edificación sustentable coinciden que “a la larga, los costos inherentes a la construcción de un edificio de oficinas bajo el concepto “verde” son retribuidos ampliamente por los beneficios económicos directos e indirectos”

Esto lo expresa José Picciotto, director de Planeación y Diseño de Proyectos de Picciotto Arquitectos: “ en México, un edificio verde es más caro, se estima que se requiere una inversión adicional de entre 5 y 15%, pero el beneficio se ve a la larga porque se logran ahorros de hasta 30% de operación anual respecto a un edificio convencional. Asimismo, se debe comprender que cuanto más se invierta va a ser más eficiente, siempre y cuando se haga con inteligencia y bajo los principios de búsqueda de la sustentabilidad mediante certificaciones como LEED-NC”

7.1 Enfoque General

Conforme a un estudio realizado por Gregory Kats³⁵, donde analiza el caso de 60 edificios LEED certificados, demuestra que una inversión adicional del 2% o de entre 21 a 54 dólares por metro cuadrado para un proyecto de edificación sustentable producirá ahorros, a lo largo de la vida útil del edificio, del orden de diez veces el incremento de inversión inicial. Por ejemplo, una inversión adicional de 100 mil dólares en un edificio de 5 millones de dólares generará, al menos, un ahorro de 1 millón tomando en cuenta un ciclo de vida de 20 años. Sin embargo, el porcentaje de la inversión adicional está muy relacionado con el nivel de certificación que se desee, tabla 7.1. En este trabajo se analizarán los casos bajo el sistema de certificación LEED-NC mencionado en el capítulo 2.

Tabla 7.1 Costos adicionales dependiendo del nivel de certificación LEED-NC

Nivel de Certificación	Costo adicional
Platino	6.50%
Oro	1.82%
Plata	2.11%
Certificado	0.66%

Fuente: C.J. Kilbert, *Sustainable Construction 2009*

Un análisis realizado dentro del mismo estudio, concluyó que existe una correlación entre los beneficios y el rendimiento financiero obtenidos de los edificios sustentables con su nivel de certificación. En la tabla 7.2 se muestran las áreas de ahorros potenciales así como su respectivo Valor Total Presente Neto (*TNPV o Total Net Present Value*) en un horizonte de 20 años. En este caso, los ahorros de energía son del orden de 62.33 dólares por metro cuadrado, sobrepasados por los referentes a la puesta en marcha (91.18 dólares por metro cuadrado) y a los de productividad y salud. En cuanto a ésta última categoría, se puede notar un ahorro de 595.61 dólares, prácticamente diez veces más a los correspondientes a la energía, para un edificio LEED Oro o Platino. No obstante, aunque los beneficios dentro de éste ámbito son muy significativos, su cuantificación se basa en las experiencias de los proyectos de este tipo.

³⁵ Kats, Gregory. *The Costs and Financial Benefits of Green Buildings*. Análisis estadístico, Estados Unidos, California's Sustainable Building Task Force, 2003.

Tabla 7.2 Ahorros en diversas categorías para edificios LEED certificados	
Categoría	Valor Total Presente Neto (TNPV) a 20 años, en dólares por metro cuadrado
Energía	62.33
Emisiones	12.70
Agua	5.49
Residuos (durante la construcción, 1 año)	0.32
Puesta en marcha (operación y mantenimiento)	91.18
Productividad y salud (Certificado & Plata)	397.11
Productividad y salud (Oro & Platino)	595.61
Menos inversión adicional	-43.06
TNPV, 20 años (Certificado & Plata)	526.07
TNPV, 20 años (Oro & Platino)	724.57
Fuente: C.J. Kilbert, <i>Sustainable Construction 2009</i>	

Por otra parte, si se considera que la inversión adicional para un proyecto de edificación sustentable va de 16.2 dólares por metro cuadrado para edificios LEED Certificados hasta de 102.2 dólares por metro cuadrado para los LEED Platino, la magnitud de los beneficios obtenidos en los edificios sustentables de alto rendimiento resulta muy sorprendente.

El monto de la inversión adicional generalmente asociada a los edificios sustentables está en función de diversos factores. El primero es que este tipo de edificios incorporan sistemas y tecnologías que no están presentes, típicamente, en los edificios tradicionales, tales como sistemas de control de agua pluvial, control integrado de la iluminación natural y artificial, sistemas de recuperación de energía, entre otros. El segundo se refiere al proceso de certificación (costos, recopilación de la información, preparación de documentos, costos de consultores) que puede aumentar el costo inicial del proyecto. Y finalmente, muchos de los productos/materiales amigables con el ambiente tienen un precio mayor a los de sus análogos, generalmente debido a que son nuevos en el mercado y su demanda está en proceso de desarrollo.

Al igual que con cualquier proyecto, el entender e incluir los aspectos económicos en el proceso de toma de decisiones es de vital importancia.

Como se describió anteriormente, el enfoque que se utiliza en la evaluación económica de un edificio sustentable de alto rendimiento es el del costo del ciclo de vida (*LCC o Life Cycle Costing*), el cual considera tanto los costos iniciales como los operativos que se producen a lo largo de la vida útil del edificio. Ambos tipos de costos son combinados en un modelo de costos que toma en cuenta el valor del dinero a través del tiempo, el costo del capital prestado, la inflación y otros factores financieros. Estos son posteriormente combinados en un solo valor, el valor total presente neto de los costos anuales, y por lo tanto, la selección de las alternativas se basará en la evaluación de esta cantidad.

7.2 Aspectos de Mercado

La propuesta de proyecto para un edificio sustentable de alto rendimiento en el sector privado debe de incluir la justificación del porqué la inversión representa un buen negocio. En el intento de abordar esta cuestión, el Consejo de Construcción Sustentable de Estados Unidos editó un documento³⁶ que aborda 10 elementos que hacen de los edificios sustentables, proyectos muy factibles económicamente. A continuación se mencionarán los aspectos más importantes.

- 1) En el caso de que los costos iniciales de los edificios sustentables sean mayores a los de un edificio tradicional, se pueden recuperar gracias a los beneficios económicos que generan.
- 2) El diseño integral disminuirá los costos operativos.
- 3) Mejores edificios resultan en mejor productividad laboral.
- 4) Nuevas tecnologías mejoran la salud y el bienestar.
- 5) Edificios más sanos pueden reducir descontentos por parte del propietario y ocupantes.
- 6) Las características sustentables del edificio resultan en un valor agregado que beneficia a los inquilinos.
- 7) El valor de la propiedad aumentará.
- 8) Un edificio con menores costos operativos es fácil de vender.
- 9) La comunidad notará los esfuerzos de éste tipo de edificios, con lo que aumentará su prestigio y reconocimiento social.
- 10) La aplicación de mejores prácticas conduce a resultados más predecibles, reduciendo el riesgo y la incertidumbre de la inversión.

³⁶ Urban Land Institute. *Making the Business Case for High Performance Green Buildings*. Investigación económica, Estados Unidos, U.S Green Building Council, 2003.

7.3 Aspectos Económicos

En cuanto a la economía de los proyectos sustentables, existen dos corrientes. La primera dice que los costos de un proyecto de edificación sustentable deberían de ser iguales o menores que los de un edificio tradicional. Este argumento se basa en que mediante el diseño integral, se logra reducir las dimensiones de los sistemas mecánicos de calefacción, los eléctricos de iluminación, entre otros. Lo cual se traduciría en una disminución de los costos iniciales del proyecto. Un ejemplo de esto es el edificio del Banco ING, al sur de Ámsterdam en Holanda, construido en 1987, el cual costó alrededor de 1,500 dólares por metro cuadrado incluyendo terreno, construcción y amueblado. En aquellos tiempos, éste costo era equiparable o menor al de otros edificios de su tipo.

En contraste, el pensamiento que sigue la segunda corriente, es que los edificios sustentables de alto desempeño tendrán inevitablemente mayores costos iniciales, los cuales al incluirlos en una evaluación basada en el ciclo de vida, se alcanzarán grandes ventajas a lo largo de dicho periodo. La inversión adicional en este tipo de proyectos se debe a los nuevos sistemas que integran al edificio, más eficientes que los tradicionales, aunque a veces más complejos y costosos. Cuando se trata de analizar el *LCC* de diversas alternativas que pueden generar un alto desempeño en los edificios, existen dos tipos de costos a considerar, costos fijos y variables.

- Costos Fijos. Son aquellos que pueden ser fácilmente documentados debido a que el propietario recibe un estado de cuenta periódico de ellos (electricidad, gas, agua).
- Costos Variables. Son aquellos que son más difíciles de documentar y para los cuales se deben de hacer supuestos para su cuantificación. Ejemplos de costos variables son: mantenimiento, productividad, salud y confort de los empleados atribuibles al edificio, mejora de la calidad interior del ambiente, y reducción de emisiones.

Un análisis *LCC* que incluya únicamente costos fijos será aceptado como justificación de estrategias alternativas siempre que se realice una compensación de los costos operativos versus los costos iniciales. El hecho de incluir todos los costos variables en este tipo de proyectos puede ser más difícil de justificar dado que la información no puede ser verificada al mismo grado y con el mismo rigor que para el caso de los costos fijos.

Si el análisis de los resultados de las estrategias alternativas para un edificio sustentable de alto rendimiento está sujeto a una revisión financiera estricta por parte de quienes toman las decisiones, entonces los costos fijos verificables deben predominar en el análisis. Si hay menor rigor en el proceso de toma de decisiones, entonces, los costos variables justificables podrán ser empleados en el análisis.

7.4 Cuantificación de Costos y Beneficios

Un análisis del ciclo de vida para un edificio sustentable de alto desempeño puede incluir costos fijos y variables. Los siguientes son beneficios generales que se pueden incluir en un *LCC* y el ámbito de los beneficios que se pueden esperar (costos fijos) o justificar (costos variables).

7.4.1 Energía

Con base en el estudio realizado por Gregory Kats, los edificios sustentables consumen en promedio 28% menos energía que los edificios tradicionales y generan un promedio de 2% de su energía in-situ a partir de fuentes de energías alternativas o renovables, como celdas fotovoltaicas, reduciendo el consumo de energía a base de combustibles fósiles en un 30%. La reducción en el consumo de energía trae un segundo beneficio: una reducción en las emisiones que contribuyen al calentamiento global.

Para ejemplificar estos beneficios, se tomará el caso de dos prototipos de edificios desarrollados por el Departamento Estadounidense de Energía y el Laboratorio Nacional de Energía Renovable. El caso base se trata de un edificio de dos pisos, 1,858 metros cuadrados, con un costo de 2.4 millones de dólares que fue modelado con dos programas de simulación de energía (DOE-2³⁷ y Energy-10³⁸) el cual se compara con un edificio sustentable de alto desempeño al cual se le sumó 47,210 dólares en costos de construcción y cerca de 2% para sus sistemas de ahorro de energía. En la tabla 7.3 se muestran los resultados obtenidos en materia de energía. El porcentaje de reducción total en los sistemas de energía resultó de un 36.8%, lo que implicó un ahorro total anual de 4,350 dólares. Así que analizando estos datos, vemos que con un incremento de 47,210 dólares para infraestructura en reducción de energía, el tiempo de retorno de la inversión (*payback*) será de 10.85 años³⁹. Esto significa que si partimos de un ciclo de vida de 20 años, a partir del año 10.85 ya se habrá recuperado la inversión adicional inicial y los ahorros empezaran a formar parte de las utilidades del inmueble. Por lo que aparte de que este sistema se paga por sí mismo (gracias a los ahorros que produce), representa una fuente de ingresos o una reducción de costos en las finanzas del edificio.

³⁷ DOE 2.2 es la versión del 2009 del DOE, un programa de simulación energética del edificio y de cálculo de costos de los sistemas eléctricos, desarrollado por primera vez por el USGBC en el 2001.

³⁸ Energy-10 es una herramienta de diseño que analiza, compara e ilustra los ahorros económicos y energéticos que se pueden alcanzar entre diferentes alternativas de diseño.

³⁹ Se obtuvo mediante el cálculo del *simple payback* que consiste en dividir la inversión adicional (47,210 dólares) entre los ahorros anuales (4,350 dólares).

Tabla 7.3 Comparación del rendimiento energético entre un edificio base y un edificio sustentable

Categoría	Edificio Base Costo anual de energía en dólares	Edificio sustentable de alto desempeño Costo anual de energía en dólares	Porcentaje de reducción
Iluminación	6,100	3,190	47.7%
Enfriamiento	1,800	1,310	27.2%
Calefacción	1,800	1,280	28.9%
Otros	2,130	1,700	20.2%
Total	11,830	7,480	36.8%

Fuente: Sitio web *US. Department of Energy*

7.4.2 Agua

En este apartado, utilizaremos un estudio realizado por la empresa *Falcon Waterfree Technologies*, para ejemplificar los ahorros que se pueden alcanzar con la instalación de mingitorios sin agua en edificios de oficinas (Tabla 7.4). Se analizaron tres escenarios en los cuales la variable es el número de unidades a instalar, la cual está en función del número de ocupantes del edificio. Los ahorros anuales totales están integrados por la suma de los ahorros en agua potable y en agua residual.

Tabla 7.4 Análisis de ahorros debidos a la instalación de mingitorios sin agua en lugar de mingitorios de descarga

Concepto	Caso A	Caso B	Caso C
Número de ocupantes	1,500	3,000	5,000
Porcentaje de hombres	55%	50%	60%
Número de hombres	825	1,500	3,000
Número de mingitorios	75	100	200
Usos/día/persona	3	3	3
Litros/ descarga (mingitorios anteriores)	11.4	11.4	11.4
Costo del agua en dólares / 1 m ³	0.65	0.65	0.65
Costo del tratamiento en dólares / 1 m ³	0.65	0.65	0.65
Días de operación/año	260	260	260

Ahorros anuales por agua			
Ahorros en litros	7,306,943	13,285,350	26,570,700
Ahorros en dólares	4,826	8,775	17,550
Ahorros anuales por tratamiento			
Ahorros en litros	7,306,943	13,285,350	26,570,700
Ahorros en dólares	4,826	8,775	17,550
Ahorro total de agua y tratamiento en dólares	9,652	17,550	35,100
Comparación anual de costos operativos en dólares			
Mingitorio de descarga	5,625	7,500	15,000
Mingitorio sin agua	3,217	4,289	8,579
Ahorros anuales de costos operativos en dólares	2,408	3,211	6,421
Ahorros anuales totales en dólares	12,060	20,761	41,521
Ahorros anuales en dólares / mingitorio	161	208	208
Fuente: Sitio web <i>Falcon Waterfree Technologies</i>			

A partir del análisis de la tabla anterior se obtienen importantes beneficios económicos, de los cuales se puede mencionar el corto periodo de payback. Tomaremos como referencia el Caso A, el cual muestra un ahorro anual de 161 dólares, ahora bien, considerando un costo de adquisición de 300 dólares por unidad, resulta un payback de 2 años, y si a eso se le añaden los ahorros por concepto de instalación de sistemas de suministro de agua (el cual no será necesario, debido a que solo necesita conexión al drenaje), tendremos un negocio muy rentable a pesar de que su costo de adquisición sea mayor a los mingitorios de descarga.

De la misma forma que con los mingitorios sin agua, se puede analizar cada elemento que integra la infraestructura de ahorro de agua en un edificio sustentable, análisis que mostrará resultados similares que confirman la factibilidad económica tanto de los elementos como del edificio en general.

7.4.3 Salud y productividad

La cuantificación de los beneficios humanos para su integración en un análisis de costos del ciclo de vida se debe hacer de manera conservativa y cautelosa, dado los datos relacionados a este campo están basados en experiencias y testimonios de los ocupantes de edificios sustentables de alto rendimiento, y de los proyectos de este tipo. Sin embargo, algunos de los ejemplos en este campo son muy significativos, como lo muestran los siguientes casos:

- Un estudio realizado por el Grupo *Heschong Mahone* en el condado Orange, California, señala que los estudiantes de escuelas con aulas iluminadas por luz natural tuvieron un incremento en las calificaciones de sus exámenes; 20% en matemáticas y 26% en lectura, comparada con estudiantes en escuelas con bajos niveles de luz natural. El estudio también se aplicó en Seattle, Washington, y en Fort Collins, Colorado, donde las mejoras en las calificaciones estuvieron de entre el 7 al 18%.
- Otro análisis conducido por el mismo grupo, comparó las ventas realizadas en tiendas departamentales con domos y otras entradas de luz solar con tiendas que no tienen estas características, encontrando para el primer caso un aumento del 40% en las ventas.

Por otra parte, en cuanto a la productividad de quienes trabajan en un edificio sustentable, se ha observado un aumento que va del 0.5 al 34% debido al control personalizado, de la temperatura, iluminación y ventilación.

De acuerdo al anteriormente mencionado informe de Gregory Kats, se puede atribuir de un aumento del 1.0 al 1.5% en la productividad de los trabajadores debido al nivel de confort y calidad de aire interior que caracteriza a este tipo de edificios.

7.4.4 Puesta en marcha

Uno de los sellos distintivos de los edificios sustentables de alto rendimiento es que, una vez terminada su construcción, todos los sistemas son cuidadosamente revisados y validados mediante pruebas para confirmar su óptimo funcionamiento (mismo que se había previsto con los softwares de simulación) en materia energética, eléctrica, térmica, etc. Los beneficios inherentes a esta actividad son difíciles de cuantificar, por lo que la regla en la práctica es atribuirle un 10% de los ahorros de energía a la puesta en marcha.

Es así que dentro del presupuesto se tendrá que considerar la contratación de profesionales que se encarguen de esta labor y que estarán involucrados en el proyecto desde su inicio. Y a pesar de que la puesta en marcha del edificio sí aumenta los costos del proyecto, es un costo indispensable debido a que los beneficios que de ello se obtiene son invaluable, dado que asegura que su rendimiento real será igual que el de diseño (y bajo el cual se tomaron

decisiones económicas importantes). En la tabla 7.5 se incluyen los costos típicos por concepto de puesta en marcha en proyectos de edificación sustentable. Como se ve en la tabla, los costos dependerán del alcance de dicha actividad, ya sea del edificio completo o solo de ciertos sistemas en particular, como lo es el sistema eléctrico o el sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado (*HVAC* o *Heating, Ventilating and Air Conditioning*).

Tabla 7.5 Costos de puesta en marcha para proyectos de construcción sustentable	
Categoría	Costo adicional
Todo el edificio	0.5 - 1.5% del costo de construcción
Sistemas de control y HVAC	1.5 - 2.5% del costo del sistema mecánico
Sistemas eléctricos	1.0 - 1.5% del costo del sistema eléctrico
2da puesta en marcha Aplica para edificios existentes	1.83 dólares por metro cuadrado
Fuente: C.J. Kilbert, <i>Sustainable Construction 2009</i>	

7.5 Control de Costos Iniciales

Uno de los retos de un edificio sustentable es el hacer que los costos iniciales no estén muy por encima de los tradicionales, o al menos, dar ejemplos claros de la rapidez de la recuperación de la inversión así como de los múltiples beneficios ambientales, sociales y económicos durante la vida útil del edificio.

Los costos iniciales son, generalmente, el factor principal en el proceso de toma de decisiones de cualquier proyecto. Ahora bien, considerando que un proyecto de edificación sustentable tiende a presentar un aumento en sus costos iniciales debido a la integración de nuevas tecnologías y nuevos expertos, se ha buscado la forma de tratar de administrar estos costos en el proyecto. Como resultado, a continuación se proporcionan algunas recomendaciones para el buen control de costos iniciales en un edificio sustentable de alto rendimiento.

- Asegurarse que quienes toman las decisiones del proyecto apoyan el concepto de sustentabilidad en la construcción.
- Establecer un objetivo claro al inicio del proyecto. Idealmente, la decisión de buscar la sustentabilidad del proyecto deberá tomarse antes de iniciar el proceso de tal manera que

las decisiones de los encargados de cada etapa reflejen este objetivo, permitiendo mayor flexibilidad en la toma de decisiones. Algunas decisiones sustentables que puedan ahorrar dinero (como la ubicación de la obra) deben tomarse mucho antes.

- Redactar licitaciones y contratos que muestren claramente los requerimientos de sustentabilidad. Por ejemplo, especificar el nivel de certificación o equivalente que se desea para el proyecto.
- Seleccionar equipo que tenga experiencia en el desarrollo sustentable. Contratar una sola firma que se encargue de la parte mecánica/eléctrica/hidráulica, que cuente con experiencia en sustentabilidad puede reducir hasta un 10% los costos iniciales de construcción. Buscar profesionales con un historial en resolución creativa de problemas para su integración al equipo de proyecto.
- Alentar a los miembros del equipo para conseguir la formación continua y estudio a fondo de las fuentes de información en materiales, productos, componentes y tecnologías sustentables, e información técnica/económica de los sistemas avanzados que mejorarán el rendimiento sustentable del proyecto.
- Usar un proceso de diseño integral. No hacer que los componentes sustentables se unan al resto del proyecto, se deben de integrar todas los sistemas y sus componentes dentro del esquema integral (ver el proyecto como un todo, no como la suma de sus partes). El establecimiento de un diseño integral puede conducir a un ahorro de capital. “El invertir 3% de los costos totales de un proyecto en el proceso de diseño puede resultar en, al menos, 10% de ahorros en la construcción debidos a simplificaciones en el diseño y unos cuantos cambios que mejoraran los procesos” (Kilbert, 2009).
- Explicar los procedimientos a los encargados de tomar las decisiones sin abrumarlos con demasiada información técnica. Usar un lenguaje claro y concreto. Permanecer enfocado en los objetivos. Respetar su opinión con respecto a la aversión al riesgo.
- Administrar los tiempos cuidadosamente. Seleccionar uno o dos miembros del equipo para supervisar el alcance de los sistemas y productos sustentables. Seleccionar una fecha límite para entrega de resultados por parte del equipo de investigación de tecnologías, sistemas, materiales, productos, etc. sustentables.
- Entender la importancia de la puesta en marcha y de las simulaciones. Mediante estas prácticas se asegura el buen funcionamiento del edificio lo cual implica menores costos por reparaciones futuras o imprevistos por incompatibilidad del diseño con el funcionamiento del edificio una vez que se encuentre en operación.

Las siguientes son algunas estrategias de diseño y construcción que puede ocupar el equipo de diseño para reducir los costos iniciales.

- Optimizar el sitio y la orientación. Una estrategia importante para reducir los costos iniciales recae en la aplicación adecuada de técnicas de selección del sitio y orientación de tal forma que el edificio capture la irradiación solar para iluminación y calefacción en invierno, y el uso de vegetación y otros elementos del sitio para reducir las cargas de enfriamiento en verano. La correcta y amplia explotación de técnicas de calefacción, enfriamiento y ventilación pasivas pueden resultar en sistemas HVAC más pequeños y menores costos iniciales.
- Reutilizar/renovar viejos edificios y uso de materiales reciclados. Reutilizando edificios y usando materiales y mobiliario reciclados, se salvan materiales vírgenes y se reduce la energía requerida para producir nuevos materiales. Además se disminuye el costo por concepto de adquisición de materiales nuevos.
- Reducir las dimensiones del proyecto. Un diseño que es espacialmente eficiente para satisfacer los objetivos y necesidades del proyecto, generalmente reduce los costos totales, a pesar de que el costo por unidad de área pueda ser mayor. El usar óptimamente el área de piso interior y moviendo ciertos espacios hacia el exterior del edificio puede reducir los costos iniciales de manera considerable.
- Eliminar elementos y acabados innecesarios. Un ejemplo de esta estrategia es la eliminación de techos falsos, muros o paneles de decoración y puertas (cuando la privacidad no es crítica). En el caso de la eliminación de los techos falsos, se obtendrán como resultados, además de la disminución de costos iniciales, mejor alcance de la luz dentro del inmueble y reducción de la altura de entrepiso (lo cual reducirá las dimensiones del edificio).
- Evitar el sobrediseño estructural y residuos de construcción. El dimensionamiento óptimo de los sistemas estructurales junto con el uso de técnicas avanzadas de construcción reducirán el uso de materiales sin afectar el rendimiento estructural del edificio. Diseñar para minimizar residuos en la construcción (como por ejemplo, usar materiales modulares para evitar el corte de piezas y la generación, por ende, de residuos) también minimiza los costos que implicaría el realizar los cortes del material y la disposición de los residuos.
- Analizar exhaustivamente el diseño integral, incluyendo la optimización del sistema energético. Un diseño integral puede llegar a reducir las dimensiones de los sistemas mecánicos HVAC. El uso de modelos de simulación energética permite que el rendimiento energético de un edificio sea analizado logrando optimizar el tamaño de los sistemas mecánicos. El uso de la luz natural y de ventanas operables para fines de ventilación

pasiva pueden reducir la necesidad de accesorios de iluminación artificial y enfriamiento mecánico, reduciendo de este modo los costos iniciales. Más allá de los sistemas relacionados con la energía, el diseño integral también puede reducir los costos de construcción y reducir los tiempos de obra. Por ejemplo, al involucrar a los responsables de las diferentes etapas del proyecto en la fase de planeación, se encontrarán sinergias que mejorarán notablemente el rendimiento del edificio y del proyecto en general.

- Reducir la infraestructura en sitio. Los costos se pueden reducir si alterara menos terreno y si se necesitara construir menor infraestructura. La infraestructura en el sitio se puede disminuir al planear cuidadosamente el sitio, minimizando el área de concreto impermeable, usando el paisaje natural en lugar de cubrir todo con césped, usando el drenaje natural en lugar del alcantarillado, y reduciendo otras infraestructuras artificiales siempre que sea posible.

Algunas de las medidas que se deben de seguir en cada una de las etapas del proyecto con el fin de mantener la construcción de un edificio sustentable de alto rendimiento dentro del presupuesto son:

- Establecer objetivos por equipo de trabajo, expectativas y habilidades.
- Incluir objetivos específicos dentro del programa.
- Alinear el presupuesto dentro del programa.
- Mantener la focalización en la sustentabilidad durante el diseño y la construcción.
- Optimizar los sistemas completos, no sus partes.
- Explotar los múltiples beneficios para gastos individuales.

7.6 Caso Estudio: Torre HSBC

La Torre HSBC (Figura 7.1) es un rascacielos ubicado en Paseo de la Reforma, Delegación Cuauhtémoc, Ciudad de México. Se encuentra frente a la glorieta del Ángel de la Independencia, y es la sede central de HSBC México. Su construcción fue finalizada en el 2006, con un costo de aproximadamente 160 millones de dólares (190 dólares por metro cuadrado) más un 1.6% adicional por concepto de sobre costos para los materiales y las instalaciones verdes y 6.7% para recursos humanos adicionales.

Cuenta con 20 pisos de oficinas, 10 niveles de estacionamiento y 2 pisos penthouse. Es utilizado por alrededor de 2,800 empleados. En el techo tiene un helipuerto y una azotea verde en una terraza de techo más abajo.

El diseño del edificio fue realizado por la firma Helmut Obata & Kassabaum, Inc. quienes buscaron crear una imagen simple que sirviera como respaldo y complemento a la Columna de la Independencia, resaltando sus texturas y formas clásicas. La fachada es una curva blanda de imagen clásica contemporánea que maneja volúmenes sencillos y elegantes pensados para resaltar la verticalidad del edificio. Otras consideraciones importantes en el diseño fueron integrar el volumen del estacionamiento con el volumen del edificio para formar una unidad, así como utilizar jardineras en la planta baja para crear un ambiente vivo y fresco.

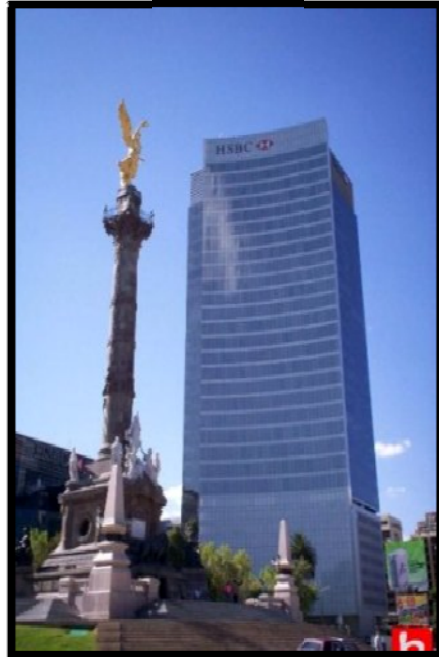


Figura 7.1 Torre HSBC, Ciudad de México. Primer edificio de Latinoamérica en obtener la certificación LEED Oro. Fuente: Sitio web *Edificios de México*

Los principios ambientales en el diseño de la Torre HSBC se ven plasmados en los elementos sustentables que la integran, como lo son:

- Reducción en el uso de agua de 63% (de 19 millones de litros por año a 7 millones) a través de inodoros eficientes, mingitorios secos y sensores de presencia en los lavabos para evitar desperdicio de agua.
- Cero uso de refrigerantes contenido CFC (clorofluorocarbonos) en los sistemas mecánicos del edificio.
- Sistema de Lutron⁴⁰ para eficiencia en el uso de la luz.
- Programa de gestión de residuos para su reciclaje. Figura 7.2.
- Vistas y luz natural para todas las oficinas.
- Alfombras con contenido reciclado y con bajos componentes orgánicos volátiles (*VOC's*).
-

⁴⁰ Sistema de control de intensidad de luz que integra tres tipos de sensores: ocupación, luz de día e intensidad de luz natural.

- Bajo contenido de VOC's en pinturas y selladores.
- Educación acerca de prácticas sustentables para todos los empleados.
- Reducción del 20% en energía.
- Colectores pluviales.
- Una planta de tratamiento de aguas residuales.
- Programa de uso eficiente de agua no potable.

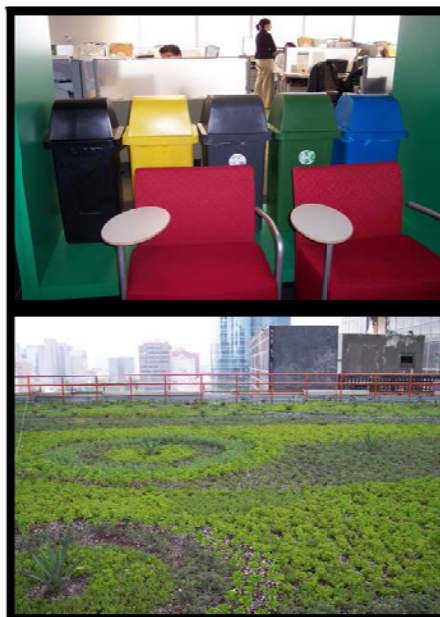


Figura 7.2 Contenedores para la separación de 5 tipos de residuos (arriba). Azotea verde (abajo). Fuente: Publicación "Case Study HSBC", *Green Building Worldwide*, 2009

Selección del sitio

Para los empleados que utilicen bicicletas para llegar a la oficina, la Torre HSBC cuenta con espacio para estacionar 140 bicicletas y tiene 18 duchas y cambiadores. Una azotea verde (Figura 7.2) actúa como aislante, disminuyendo el efecto "isla de calor" creado por los espacios pavimentados, y trata 1% de las aguas pluviales. Además de ofrecer un espacio en donde los empleados pueden relajarse. Las aguas pluviales también son almacenadas y reutilizadas en las torres de enfriamiento en el sistema mecánico y en los inodoros. El tamaño de la cisterna que almacena el agua es de 154 m³.

Eficiencia en el uso de agua

Se utilizaron especies nativas del sitio con demanda baja de riego de tal forma que pueden sobrevivir con la cantidad de lluvia que cae cada año. Todos los mingitorios son secos y no requieren agua. Los sensores de presencia en los lavabos controlan la cantidad de agua utilizada. Las aguas pluviales son reutilizadas en inodoros y en áreas verdes. Con estas prácticas, el edificio ahorra 12 millones de litros de agua potable cada año.

Energía y Atmósfera

Un sistema de Lutron regula la intensidad de iluminación en función de la cantidad de luz natural presente en el interior del edificio. El diseño de los sistemas mecánicos cuenta con refrigerantes libres de CFC's y HCFC (Hidroclorofluorocarbonos) que no dañan la capa de ozono. En edificio cuenta con monitores de LCD con la aprobación de *Energy Star* (certificación de eficiencia energética) en todas las oficinas demandando un 80% menos de energía eléctrica que los monitores convencionales.

Materiales y Recursos

Durante la etapa de construcción se siguió un plan de reciclaje de residuos y se implantó otro para su deconstrucción. Los residuos fueron separados y reciclados o reutilizados. Solo fueron tirados como último recurso. Se estima que más del 75% de los desperdicios fueron desviados del relleno sanitario. Las alfombras tienen alto contenido de material reciclado. Algunos elementos de los baños fueron construidos con material 100% reciclado.

Las pinturas que se emplearon tienen un bajo contenido VOC's certificados por *Green Seal* (certificación ecológica de materiales). Las alfombras y mueblería están certificadas por *Green Guard* (certificación que promueve la salud de los ocupantes) por ser productos con contenido reciclado y sin emisiones de VOC's. El 10% de los agregados del material de construcción es reciclado.

Luz Natural y Vistas

La Torre HSBC cuenta con una fachada de cristal, lo que en conjunto con el uso de mobiliario bajo, permite que la luz natural llegue a un 90% de los espacios. Debido a que el sistema de Lutron mantiene las luces apagadas mientras haya suficiente luz de día, lo cual implica un ahorro de energía y un uso reducido de luz artificial.

En lo que se refiere a seguridad, la Torre cuenta con dos bloques de escaleras presurizadas de emergencia, equipo de protección contra incendios de acuerdo con las normas internacionales establecidas, tecnología sísmica de vanguardia y cristales de seguridad en sus fachadas.

La Torre fue equipada con las más altas medidas de seguridad sísmica, cuenta con 76 amortiguadores a lo largo de toda su estructura y 127 pilotes de acero y concreto que penetran a una profundidad de 55 metros superando el relleno pantanoso del antiguo lago de la ciudad.

Además, la Torre HSBC cuenta con un sistema de vigilancia y control electrónico del inmueble que monitorea el funcionamiento del circuito cerrado de televisión, el control de accesos, sistemas de detección de incendios y evacuación, aire acondicionado y elevadores. Este sistema es el "cerebro" que controla las instalaciones y equipo de la Torre.

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES

Existe la necesidad de fomentar una consciencia ambiental tanto en la sociedad en general como en los estudiantes, futuros líderes en sus respectivos campos de estudio. Es por eso que, en el ámbito de la ingeniería civil, resulta fundamental un cambio de enfoque que vaya de lo tradicional a uno más consciente y comprometido con el medio ambiente, es decir, un enfoque sustentable. Este enfoque ha logrado integrar y encontrar la sinergia entre las actividades humanas y el ambiente, demostrando que el bienestar social y el cuidado ambiental no están peleados con los aspectos económicos. Por otra parte, la aplicación de un enfoque sustentable en los proyectos de ingeniería civil, garantiza que un proyecto contará con una alta calidad técnica, con beneficios económicos a lo largo de la vida útil del edificio y con un mínimo impacto ambiental. En lo que se refiere a la concepción de las etapas de un proyecto de edificación, es necesario ampliar el esquema tradicional de tal forma que conciba al proyecto como un ciclo, no como un proceso lineal, que abarque desde la planeación hasta la remodelación y deconstrucción. La integración de estas nuevas etapas evitará que, al término de su vida útil, la edificación simplemente se abandone, convirtiéndose en basura y una fuente potencial de contaminación ambiental.

La sustentabilidad en los proyectos de ingeniería civil debe integrarse desde la concepción del proyecto, mucho antes de la planeación, lo cual implica un compromiso particular por parte del propietario con el nivel de sustentabilidad del edificio, meta que estará presente en todas las etapas y decisiones del proyecto. Es muy importante que desde la primera etapa se organice un *charrette* integrado por los jefes de proyecto de cada etapa, el propietario, y otros especialistas como arquitectos, abogados, economistas, consultores, etc.; de tal forma que, todos los involucrados en el proyecto estén enterados y adopten el enfoque sustentable que guiará al proyecto.

En la etapa de diseño, es vital el trabajo interdisciplinario y sinérgico de los miembros del *charrette* para proyectar el diseño óptimo del edificio que cumpla con los objetivos de sustentabilidad acordados en la planeación. De ahí el interés de concebir al proyecto como un todo, no como una suma de partes, de tal forma que la solución óptima comprenda los aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales de todo el edificio.

En cuanto a energía se refiere, el primer paso para la disminución del consumo eléctrico en el edificio es la integración del diseño pasivo, el cual ayudará a reducir las cargas internas del edificio, al igual que la cantidad de materiales. Dicha reducción de cargas internas, generalmente, resulta en la disminución de las dimensiones y demandas de los sistemas *HVAC*. Es por eso que la simulación del rendimiento de estos sistemas, complementados con sistemas de recuperación de energía, estará en función de las cargas internas, diseño del edificio, características del equipo, entre otros. De ahí la importancia de la optimización integral del sistema. Además de los sistemas mecánicos *HVAC*, existen alternativas como los sistemas geotérmicos, de enfriamiento por radiación y de energía renovable que utilizan los recursos de manera sustentable. Otro aspecto importante es el aprovechamiento de la luz natural en los sistemas de iluminación, integrándola mediante sistemas *dimming* que compensan la falta de luz natural con luz artificial, evitando así un consumo innecesario de energía eléctrica. Finalmente, para lograr un control óptimo de los sistemas eléctricos, como iluminación, *HVAC*, motores, equipo de cómputo, red de telecomunicaciones, sensores, etc., es imprescindible la instalación de un sistema digital de control que permita administrar e integrar todos estos sistemas en un modelo de optimización energética que asegure el uso eficiente del recurso energía.

El uso eficiente del agua en el edificio se traduce en una reducción de costos operativos no solo por concepto de consumo de agua, sino también por consumo de energía. Para lograr esto se debe de optimizar el sistema hidrológico del edificio, que abarca desde la distribución del agua hasta su tratamiento in situ. Algunas de las alternativas para el uso eficiente de este recurso en el edificio son: la integración de dispositivos de bajo flujo, sistemas de captación y almacenamiento de agua pluvial, así como sistemas de reutilización de aguas grises. Una de las metas del diseño de un edificio sustentable es el lograr un diseño ecológico que genere una relación sinérgica entre los sistemas naturales y el edificio. Para esto, existen diversos sistemas como humedales y máquinas vivas para el tratamiento de aguas residuales, el *xeriscape* y el riego por goteo para la optimización del uso de agua en aplicaciones de jardinería.

El uso de suelo y el diseño del paisaje conforman un recurso que permite la innovación e integración de una edificación con su ecosistema, para lo cual existe una amplia gama de posibilidades como son: el *xeriscape*, pavimentos permeables y sistemas de bioretención que representan tecnologías de captación y control de agua pluvial para la recarga de mantos acuíferos. En cuanto al efecto isla de calor, la reducción de áreas puntuales de alta carga calorífica en la envolvente del edificio, se logra mediante la integración del medio ambiente a través de prácticas como son los jardines verticales, las azoteas verdes, y sistemas de bioretención.

La composición de los materiales utilizados en un edificio es un factor muy importante en su impacto ambiental a lo largo de su vida útil. 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. Un parámetro que nos permite saber la cantidad de energía usada para obtener un kilogramo de material, es la energía incorporada, aunque algunas veces, parámetros como las emisiones de gases o el uso de recursos no renovables suelen ser mucho más representativos e importantes para la evaluación del impacto ambiental del material. De ahí la importancia de realizar un análisis del ciclo de vida de los materiales, que incluya estos y otros parámetros, dándonos una visión más global de su rendimiento ambiental, que nos ayude en la elección de alternativas de materiales. Finalmente, la práctica del diseño para la deconstrucción y el desmontaje representa una estrategia que permite ampliar la vida útil de un material o producto, reduciendo al máximo los residuos que puedan contaminar al medio ambiente y la explotación de recursos mediante la reutilización y reciclaje de elementos del edificio.

Los proyectos de edificación sustentable frecuentemente implican una inversión adicional (del 2 al 15%) con respecto al costo inicial de un edificio tradicional. Sin embargo, los beneficios ambientales, sociales y económicos que genera el edificio a lo largo de su ciclo de vida son invaluable, y mucho mayores que la inversión adicional con un *payback* que va desde 2 a 8 años aproximadamente dependiendo de los sistemas implantados. En general se considera que una inversión adicional para la integración de tecnologías sustentables en el edificio, del orden del 2% de la inversión inicial generará beneficios económicos del orden de diez veces la inversión adicional.

Esto nos muestra que la magnitud de los beneficios será proporcional al grado de inversión adicional y del nivel de sustentabilidad para el cual se haya diseñado el edificio. De ahí la importancia de reflejar adecuadamente todos los beneficios de un edificio sustentable (reducción de costos operativos, aumento de su valor en el mercado, mejora del bienestar, salud, confort y productividad de los ocupantes, cuidado al ambiente, etc.) en un análisis económico que justifique la aplicación de las tecnologías y medidas sustentables presentes en el diseño. En el caso de los beneficios intangibles como la salud y la productividad, se recomienda sustentarlos mediante el estudio de los beneficios económicos obtenidos en edificios de este tipo.

El LCC representa un método de evaluación de proyectos sustentables que permite integrar y analizar los costos iniciales y operativos en un modelo de costos que toma en cuenta el valor del dinero a través del tiempo, el costo del capital prestado, la inflación y otros factores financieros, los cuales son incorporados en el valor total presente neto de los costos anuales, valor de gran importancia económica al momento de elegir entre diversas alternativas para el proyecto.

La puesta en marcha es una actividad que a pesar de representar un costo adicional alrededor del 2% del costo inicial de la construcción, los beneficios que de ella se obtiene son invaluable dado que asegura que el edificio funciona como fue diseñado, lo cual implicara evitar costos adicionales por reparación o modificaciones futuras debido al mal funcionamiento de los sistemas de edificio.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

1. Calkins, Meg. *Materials for sustainable sites*. Canadá, John Wiley & Sons, 2009.
2. Carpenter, Tom. *Environment, construction and sustainable development*. Estados Unidos, John Wiley & Sons, 2001.
3. Douglas, Farr. *Sustainable urbanism: urban design with nature*. Estados Unidos, John Wiley & Sons, 2008.
4. Ellingham, Ian, y William Fawcett. *New generation whole-life costing*. Inglaterra, Taylor & Francis, 2006.
5. Frederick, Alan. *Water, sanitary and waste services for buildings*. Inglaterra, Butterworth Heinemann, 2008.
6. Fredman, Avi. *Sustainable residential development: planning and design for green neighborhoods*. Estados Unidos, McGraw-Hill, 2007.
7. Illston, J.M., y P.L.J. Domone. *Construction materials: their nature and behaviour*. Inglaterra, Spon, 2001.
8. Kilbert, Charles J. *Sustainable construction: green building design and delivery*. Estados Unidos, John Wiley & Sons, 2009.
9. Langston, Craig A., y Grace K.C. Ding. *Sustainable practices in the built environment*. Inglaterra, Butterworth Heinemann, 2001.
10. Oughton, D.R. *Heating and air conditioning for buildings*. Inglaterra, Butterworth Heinemann, 2008.
11. Sanramouris, Mat. *Environmental design of urban buildings*. Inglaterra, Earthscan, 2006.
12. Schmid, Steven R. *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México, Prentice Hall, 2002.
13. Walsh, Michael A. *Ingeniería de costos y administración de proyectos*. México, Alfaomega, 1995.
14. Wilson, Alex. *Green development: integrating ecology and real state*. Estados Unidos, John Wiley & Sons, 1998.

ARTÍCULOS

1. "About BREEAM Buildings.", [en línea], Reino Unido, *BREEAM*. 2007. Dirección URL: <http://www.breeam.org/page.jsp?id=13> [último acceso: 17 de abril de 2010].
2. Bembaron, Elsa. "Des Bureaux Écolo High-Tech.", [en línea], Francia, *Le Figaro*, 23 de marzo de 2010. Dirección URL: <http://www.lefigaro.fr> [último acceso: 12 de julio de 2010].
3. Caldwell, Elizabeth. "With Xeriscaping, Grass Needn't Always Be Greener.", [en línea], Estados Unidos, *USA Today*, 17 de julio de 2007. Dirección URL: <http://www.usatoday.com> [último acceso: 5 de abril de 2010].
4. "Calentadores solares para agua.", [en línea], *Textos Científicos*. 8 de agosto de 2005. Dirección URL: <http://www.textoscientificos.com> [último acceso: 23 de mayo de 2010].
5. Calvo, Cristina. "Polémica en certificación de edificios.", [en línea], México, *CNN Expansión*, 31 de diciembre de 2008. Dirección URL: <http://www.cnnexpansion.com> [último acceso: 19 de julio de 2010].
6. "Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency.", [en línea], Japón, *CASBEE*. 2006. Dirección URL: <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/methodE.htm> [último acceso: 17 de abril de 2010].
7. Corwin, Jeff. "The Sixth Extinction.", [en línea], Estados Unidos, *Los Angeles Times*, 30 de noviembre de 2009. Dirección URL: <http://articles.latimes.com> [último acceso: 26 de marzo de 2010].
8. "EcoCentre "Living Building" Opens in South Florida.", [en línea], Estados Unidos, *Help Save the World*. 17 de enero de 2009. Dirección URL: <http://helpsaveearth.org.blogspot.com> [último acceso: 18 de mayo de 2010].
9. Ernst, Maggie. "Climate Change .", [en línea], Estados Unidos, *U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration*. 2009. Dirección URL: <http://coastalmanagement.noaa.gov/climate.html> [último acceso: 24 de marzo de 2010].
10. Ewald, Celeste. "Techos verdes son el futuro.", [en línea], México, *Veoverde*, 20 de octubre de 2009. Dirección URL: <http://www.veoverde.com> [último acceso: 21 de junio de 2010].
11. Gomez, Laura. "Ponen en operación planta para reciclar desechos de obras.", [en línea], México, *La Jornada*, 9 de noviembre de 2004. Dirección URL: <http://www.jornada.unam.mx> [último acceso: 2 de julio de 2010].
12. Ibarra, Gustavo. "Bosques Mexicanos.", [en línea], México, *WWF México*. 2007. Dirección URL: http://www.wwf.org.mx/wwfmex/prog_bosques.php [último acceso: 30 de marzo de 2010].
13. Kober, Christoph. "Warm Water from the Roofs of Mexico.", [en línea], Alemania, *Deutsche Welle*. 2009. Dirección URL: <http://www.dw-world.de> [último acceso: 3 de junio de 2010].
14. Lozano, Arturo. "Sistemas de ventilación por desplazamiento.", [en línea], México, *Mundo HVACR*, 24 de mayo de 2010. Dirección URL: <http://www.mundohvacr.com.mx> [último acceso: 12 de abril de 2010].

15. Meder, Amanda. "Rain Gardens: Just Add Water.", [en línea], Estados Unidos, *Prairie Fire*. abril de 2009. Dirección URL: <http://www.prairiefirenewspaper.com> [último acceso: 17 de junio de 2010].
16. Nolt, John. "Taylor's Central Argument.", [en línea], Estados Unidos, *University of Tennessee*. 2003. Dirección URL: <http://web.utk.edu/~nolt/courses/544> [último acceso: 28 de marzo de 2010].
17. "Pollution from Construction.", [en línea], Reino Unido, *Sustainable Build*. 2009. Dirección URL: <http://www.sustainablebuild.co.uk/PollutionFromConstruction.html> [último acceso: 21 de marzo de 2010].
18. "Programa Mexico.", [en línea], México, *WWF México*. 2007. Dirección URL: <http://www.wwf.org.mx/wwfmex/wwfmex.php> [último acceso: 30 de marzo de 2010].
19. Rumsey, Peter. "Reinventing HVAC Design for Green Buildings.", [en línea], Estados Unidos, *Environmental Design and Construction*, 26 de enero de 2002. Dirección URL: <http://www.edcmag.com> [último acceso: 19 de abril de 2010].
20. Torres, Issac. "En 30 años, México ha perdido 50 especies; 40% sigue en riesgo.", [en línea], México, *La Cronica*, 22 de abril de 2007. Dirección URL: <http://www.cronica.com.mx> [último acceso: 28 de marzo de 2010].
21. "Turbinas de viento para edificios.", [en línea], *Blog eRenovable*. 19 de marzo de 2007. Dirección URL: <http://erenovable.com> [último acceso: 15 de mayo de 2010].
22. Vanderbilt University, "Sustainability at Vanderbilt University", [en línea], Estados Unidos, Dirección URL: <http://www.vanderbilt.edu> [último acceso: 26 de marzo de 2010].
23. "What is Green Star?", [en línea], Australia, *Green Building Council Australia*. 2008. Dirección URL: <http://www.gbca.org.au/green-star/green-star-overview/> [último acceso: 19 de abril de 2010].
24. Yale University, "Without Recycling, World Metals Face Depletion Finds Yale Study.", [en línea], Estados Unidos, *Mongabay*, 26 de enero de 2006. Dirección URL: <http://news.mongabay.com> [último acceso: 4 de abril de 2010].

PUBLICACIONES

1. Australian Energy News. *Oil Production Curve Cause for Concern*. Documento informativo, Australia, Australian Energy News, 2001.
2. BREEAM. *BREEAM Awards 2010*. Evaluación, Reino Unido, BREEAM, 2010.
3. Distrito de Administración de agua del Río St. Johns. *Guía local de sistemas de control de agua pluvial*. Folleto de prácticas recomendables, Estados Unidos, Distrito de Administración de agua del Río St. Johns, 2004.
4. Green Building Worldwide. *Case study: Torre HSBC*. Caso de estudio, Estados Unidos, Green Building Worldwide, 2009.
5. Hernández, Floriana. *Captación de agua como alternativa para afrontar la escasez del recurso*. Investigación académica, México, Universidad Autónoma de Chapingo, 2006.

6. Inzunza, Juan. *Principios de microclimatología*. Investigación científica, Chile, Universidad de Concepción, 2001.
7. Kats, Gregory. *The Costs and Financial Benefits of Green Buildings*. Análisis estadístico, Estados Unidos, California's Sustainable Building Task Force, 2003.
8. Larson, Nils. *The Integrated Design Process*. Investigación empresarial, Canadá, iSBE, 2004.
9. Sistema de Aguas de la Ciudad de México. *Catálogo de productos y dispositivos ahorradores de agua*. Catálogo, México, Gobierno del Distrito Federal, 2008.
10. South Florida Water Management District. *Xeriscape*. Folleto informativo, Estados Unidos, South Florida Water Management District, 2008.
11. The University of Alabama. *Ground-Coupling with Water Source Heat Pumps*. Investigación académica, Estados Unidos, The University of Alabama, 2003.
12. U.S. Department of Energy. *The Business Case for Sustainable Design in Federal Facilities*. Investigación económica, Estados Unidos, U.S. Department of Energy, 2004.
13. Urban Land Institute. *Making the Business Case for High Performance Green Buildings*. Investigación económica, Estados Unidos, U.S Green Building Council, 2003.
14. West Michigan Environmental Action Council. *Jardines de lluvia del oeste de Michigan*. Folleto de prácticas recomendables, Estados Unidos, West Michigan Environmental Action Council, 2001.
15. WGBC Aesthetics Subcommittee. *Engage the Integrated Design Process*. Investigación económica, WGBC, 2009.

SITIOS WEB

1. *Architecture Things*. [en línea], Estados Unidos, Dirección URL: <http://www.archithings.com> [último acceso: 22 de abril de 2010].
2. *ARIAN SOLAR, Tecnologías de Energía Solar*. [en línea], México, Dirección URL: <http://www.arian.com.mx/solar/solar.htm> [último acceso: 13 de junio de 2010].
3. *Athena Institute, Software for LCA*. [en línea], Estados Unidos, Dirección URL: <http://www.athenasmi.org/about/index.html> [último acceso: 21 de junio de 2010].
4. *Bioretention*. [en línea], Estados Unidos, Dirección URL: <http://www.bioretention.com> [último acceso: 2 de junio de 2010].
5. *BIPV: Building Integrated Photovoltaics*. [en línea], Suiza, Dirección URL: <http://www.bipv.ch> [último acceso: 15 de mayo de 2010].
6. *Blog de Energías Renovables*. [en línea], Dirección URL: <http://erenovable.com> [último acceso: 27 de abril de 2010].
7. *BORD NA MONA Environmental Products U.S. Inc.* [en línea], Estados Unidos, Dirección URL: <http://www.bnm-us.com> [último acceso: 29 de abril de 2010].

8. *BREEAM* . [en línea], Reino Unido, Dirección URL: <http://www.breeam.org> [último acceso: 23 de marzo de 2010].
9. *Comision Nacional Forestal*. [en línea], México, Dirección URL: <http://www.conafor.gob.mx> [último acceso: 29 de junio de 2010].
10. *Concreto Permeable*. [en línea], México, Dirección URL:<http://www.concretopermeable.com> [último acceso: 30 de mayo de 2010].
11. *Concretos Reciclados*. [en línea], México, Dirección URL: <http://www.concretosreciclados.com.mx> [último acceso: 23 de junio de 2010].
12. *DeCrent Water Consult*. [en línea], Dirección URL:<http://www.dwc-water.com> [último acceso: 27 de mayo de 2010].
13. *Ecologismo*. [en línea], España, Dirección URL: <http://www.ecologismo.com> [último acceso: 30 de junio de 2010].
14. *Edificios de México*. [en línea], México, Dirección URL: <http://www.edemx.com> [último acceso: 23 de julio de 2010].
15. *Energy Design Resources*. [en línea], Estados Unidos, Dirección URL: <http://www.energydesignresources.com> [último acceso: 15 de julio de 2010].
16. *Environmental Building News*. [en línea], Estados Unidos, Dirección URL: <http://www.buildinggreen.com> [último acceso: 19 de julio de 2010].
17. *Facultad de Ingeniería, UNAM*. [en línea], México, Dirección URL: <http://www.ingenieria.unam.mx> [último acceso: 18 de marzo de 2010].
18. *Fiber Star: Sustainable Technology in Lighting* . [en línea], Chile, Dirección URL: <http://www.fiberstars.cl> [último acceso: 5 de mayo de 2010].
19. *Gadgets y electrónica*. [en línea], España, Dirección URL: <http://www.gizmotica.com> [último acceso: 13 de mayo de 2010].
20. *Green Building Council Australia*. [en línea], Australia, Dirección URL: <http://www.gbca.org.au> [último acceso: 25 de marzo de 2010].
21. *Hosoya Schaefer Architects*. [en línea], Suiza, Dirección URL: <http://www.hosoyaschaefer.com> [último acceso: 15 de abril de 2010].
22. *Inhabitat: Design will save the world*. [en línea], Dirección URL: <http://www.inhabitat.com> [último acceso: 7 de mayo de 2010].
23. *Institute for Building Environment and Energy Conservation*. [en línea], Japón, Dirección URL: <http://www.ibec.or.jp> [último acceso: 23 de marzo de 2010].
24. *Instituto Nacional de Ecología*. [en línea], México, Dirección URL: <http://www2.ine.gob.mx> [último acceso: 7 de julio de 2010].
25. *LACOP, Laboratorio de análisis de contaminantes persistentes*. [en línea], Colombia, Dirección URL: http://siu2.udea.edu.co/grupos/LACOPs/ContPersist_Dioxinas.htm [último acceso: 3 de julio de 2010].
26. *Lentech: Water Treatment Solutions*. [en línea], España, Dirección URL: <http://www.lentech.es> [último acceso: 27 de mayo de 2010].

27. *Lleida Biotech*. [en línea], España, Dirección URL: <http://www.lleidabiotech.com> [último acceso: 6 de julio de 2010].
28. *Mundo HVACR*. [en línea], México, Dirección URL: <http://www.mundohvacr.com.mx> [último acceso: 25 de abril de 2010].
29. *National Oceanographic and Atmospheric Administration*. [en línea], Estados Unidos, Dirección URL: <http://coastalmanagement.noaa.gov> [último acceso: 19 de marzo de 2010].
30. *Novorama: Engineering a Sustainable World*. [en línea], Reino Unido, Dirección URL: <http://www.novorama.co.uk> [último acceso: 13 de mayo de 2010].
31. *RTS Automation*. [en línea], Alemania, Dirección URL: <http://www.rts-automation.de> [último acceso: 18 de abril de 2010].
32. *Rubber Pavements Association*. [en línea], Estados Unidos, Dirección URL: <http://www.rubberpavements.org> [último acceso: 2 de julio de 2010].
33. *Schatz Energy Research Center, Humbolt State University*. [en línea], Estados Unidos, Dirección URL: <http://coastalmanagement.noaa.gov> [último acceso: 18 de mayo de 2010].
34. *Sheppard Robson Architects*. [en línea], Inglaterra, Dirección URL: <http://www.sheppardrobson.com> [último acceso: 15 de abril de 2010].
35. *Solar Hot Water, Heating and Cooling Systems*. [en línea], Estados Unidos, Dirección URL: <http://solarheatcool.sustainablesources.com> [último acceso: 27 de abril de 2010].
36. *Sustainable Build*. [en línea], Reino Unido, Dirección URL: <http://www.sustainablebuild.co.uk> [último acceso: 22 de marzo de 2010].
37. *Tecnologías para Protección Ambiental SA de CV*, [en línea], México, Dirección URL: <http://1428.mx.all-biz.info> [último acceso: 21 de mayo de 2010].
38. *Textos Científicos: Energías Alternativas*. [en línea], Dirección URL: <http://www.textoscientificos.com/energias> [último acceso: 3 de mayo de 2010].
39. *U.S. Department of Energy: Energy Efficiency & Renewable Energy*. [en línea], Estados Unidos, Dirección URL: <http://www.energysavers.gov> [último acceso: 13 de mayo de 2010].
40. *U.S. Geological Survey: Water*. [en línea], Estados Unidos, Dirección URL: <http://ga.water.usgs.gov> [último acceso: 21 de mayo de 2010].
41. *U.S. Green Building Council*. [en línea], Estados Unidos, Dirección URL: <http://www.usgbc.org> [último acceso: 22 de marzo de 2010].
42. *United States Environmental Protection Agency*. [en línea], Estados Unidos, Dirección URL: <http://www.epa.gov> [último acceso: 19 de marzo de 2010].
43. *University of British Columbia*. [en línea], Canadá, Dirección URL: <http://www.publicaffairs.ubc.ca> [último acceso: 22 de mayo de 2010].
44. *Vertical Garden*. [en línea], Francia, Dirección URL: <http://www.verticalgardenpatrickblanc.com> [último acceso: 8 de junio de 2010].

45. *World Bussiness Council of Sustainable Development*. [en línea], Dirección URL: <http://www.wbcsd.org> [último acceso: 23 de marzo de 2010].
46. *Worrell Water Technologies*. [en línea], Estados Unidos, Dirección URL: <http://www.worrellwater.com/news/logos> [último acceso: 4 de junio de 2010].
47. *WWF México*. [en línea], México, Dirección URL: <http://www.wwf.org.mx> [último acceso: 21 de marzo de 2010].
48. *XERXE: Alternative Energy Green Economy*. [en línea], Estados Unidos, Dirección URL: <http://www.xerxe.com> [último acceso: 15 de mayo de 2010].
49. *Yas Hotel*. [en línea], Emiratos Árabes Unidos, Dirección URL: <http://www.theyashotel.com> [último acceso: 23 de junio de 2010].