

DESARROLLO SOSTENIBLE EN EDIFICACIONES

GERMÁN ALFONSO OSMA PINTO

*Ingeniero Electricista – Ingeniero Industrial
Candidato de Maestría en Ingeniería Eléctrica
Escuela de Ingenierías Eléctrica y Electrónica y de Telecomunicaciones – E3T
Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica – GISEL
Universidad Industrial de Santander
german.osma@gmail.com*

GABRIEL ORDÓÑEZ PLATA

*Doctor Ingeniero Industrial – Ingeniero Electricista
Escuela de Ingenierías Eléctrica y Electrónica y de Telecomunicaciones – E3T
Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica – GISEL
Universidad Industrial de Santander
gaby@uis.edu.co*

*Fecha de Recibido: 19/11/2009
Fecha de Aprobación: 26/05/2010*

RESUMEN

En este documento se exponen dos aspectos: (1) cómo los problemas del consumo de energía y de las emisiones contaminantes de las edificaciones actuales pueden reducirse desde el concepto *green building*, y (2) cómo las aplicaciones sostenibles, implementadas en otros países, podrían generar importantes ahorros financieros y sostenibilidad durante la utilización del Edificio Eléctrica 2 de la Universidad Industrial de Santander que está en proceso de diseño, debido a dos factores: la disminución en la demanda de energía eléctrica y el aprovechamiento de las energías renovables en sitio.

La revisión del estado del arte realizada, tiene como aspectos centrales: el desarrollo sostenible, el concepto de la exergía y los *green building*. Este análisis de la información permitirá establecer los aspectos relevantes a tener en cuenta en las especificaciones técnicas del futuro diseño del Edificio Eléctrica 2.

PALABRAS CLAVES: *Desarrollo sostenible, edificios verdes, uso racional y eficiente de la energía-URE, exergía.*

ABSTRACT

In this document two topics are exposed: (1) how the problems of the energy consumption and of the polluting emissions of the current constructions they can be reduced with the concept green building, and (2) how the sustainable applications, implemented in other countries, they could generate financial important savings and sustainability during the use of the Edificio Eléctrica 2 of the Universidad Industrial de Santander that is in the process of design due to two factors: the decrease in the electric power demand and the use of the renewable energies in place.

The review of the state-of-the-art, has as central aspects: the sustainable development, the exergy concept and the green building. This analysis of the information will allow establish the relevant aspects to take into account in the technical specifications for the future design of the Edificio Eléctrica 2.

KEYWORDS: *Sustainable development, green building, rational use of energy, exergy.*

1. INTRODUCCIÓN

La Universidad Industrial de Santander desea que la construcción de sus nuevas edificaciones se caracterice por el uso racional de los recursos. Pues las edificaciones actuales registran, por ejemplo, un consumo significativo de energía eléctrica debido a sistemas de aire acondicionado e iluminación que no aprovechan las condiciones naturales del entorno. Por tal razón, se propone considerar criterios de sostenibilidad en los diseños de nuevos proyectos.

En el diseño de edificaciones se pueden considerar diversas aplicaciones sostenibles, activas (energía solar fotovoltaica, energía eólica, tratamiento de aguas grises) o pasivas (iluminación natural, ventilación natural y techos verdes)

Con el fin de identificar aspectos claves que permitan establecer condiciones de diseño en una de las futuras edificaciones del campus central de la Universidad Industrial de Santander, el nuevo Edificio Eléctrica 2, se ha realizado una revisión de publicaciones relacionadas con la sostenibilidad en entornos urbanos, y particularmente de edificaciones verdes o “sostenibles”. En el presente documento, inicialmente se expone el concepto de desarrollo sostenible, la evaluación de la sostenibilidad, la necesidad del uso racional de la energía y las herramientas actualmente utilizadas, principalmente el concepto de la exergía, al considerarse la más apropiada para ello. Posteriormente, se presentan el concepto, la importancia y los beneficios de las edificaciones sostenibles; así mismo, relevantes aplicaciones sostenibles, tales como: energía solar fotovoltaica, iluminación natural, aprovechamiento de aguas grises, techo verde y ventilación natural, y por último se discute la importancia, el diseño y las metodologías para la evaluación de la sostenibilidad en edificaciones.

2. DESARROLLO SOSTENIBLE

La sociedad a nivel mundial valora cada vez más la importancia de la realización de sus actividades con filosofía sostenible, pues se considera que este elemento es esencial para obtener soluciones a sus necesidades en el largo plazo [1] y reparar la explotación irresponsable de recursos que ha generado cambios lesivos al planeta [2]. Afortunadamente, varios países han emprendido esfuerzos por propiciar la sostenibilidad en sus entornos y actividades [3].

El concepto desarrollo sostenible se fundamenta en buscar un equilibrio entre medio ambiente (recursos), sociedad (necesidades) y economía (negocios); apareció en Alemania a principios del siglo XVIII y se expuso nuevamente en 1972 en la obra *Los límites del crecimiento* [1]. En particular, el eje por excelencia es el medio ambiente, pues este permite la existencia de la sociedad y los recursos requeridos para el desarrollo de la economía [2].

En 1987, la Asamblea General de las Naciones Unidas, en su reporte *Nuestro futuro común* de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo, adoptó el concepto moderno de sostenibilidad: “*desarrollo que conoce y atiende las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de conocer y atender las suyas*” [4].

Entre los objetivos del desarrollo sostenible se tienen: preservar los recursos naturales, reducir el impacto medioambiental de la industrialización, y mejorar las condiciones de vida, salud y educación en el mundo [1].

Actualmente, se conoce que el modelo de la producción y consumo en masa genera impactos negativos al medio ambiente, debido al consumo de recursos a un elevado ritmo y a la contaminación del medio ambiente [1].

2.1 Importancia de la evaluación de sostenibilidad

Para iniciar proyectos de sostenibilidad es prioritario conocer la situación actual del entorno o actividad, con el fin de emprender propuestas que puedan eliminar o mitigar los impactos negativos [5].

Una evaluación de sostenibilidad analiza los recursos utilizados para el desarrollo de las actividades humanas [1], y permite encontrar problemas mediante la descripción de la situación en un momento dado [6], para lo cual es crítico determinar y conocer el comportamiento de los factores claves del entorno [2].

2.2 Aspectos valorados en una evaluación de sostenibilidad

La evaluación de sostenibilidad contempla aspectos del entorno o actividad humana, que dependen principalmente de objetivos estratégicos, optimización de recursos y minimización de los desperdicios [5], [6].

El impacto sobre el medio ambiente se encuentra en función de tres factores: población (número de personas), capacidad del ambiente (uso de recursos por personas) y tecnología (impacto medio ambiental por unidad de recursos utilizado); sólo el tercer factor se presenta como una variable sobre la cual se tiene una importante capacidad de maniobra [4].

La tecnología permite reducir el impacto del desarrollo en el medio ambiente, al consumir menos recursos y lograr su reutilización continua, de manera que su consumo externo sea el mínimo posible. Para lograr este objetivo se deben implementar tecnologías limpias, que reduzcan la contaminación, y mejorar los procesos de manera que requieran menos agua, energía y materias primas, y se reduzca la emisión de desperdicios [1], [4].

Otro aspecto a evaluarse es la política de selección de materiales y tratamiento de residuos. En la selección de materiales debe considerarse la toxicidad y los desperdicios generados, pues lo deseable es usar materiales que sean renovables, reciclables o reciclados, con el fin de mejorar el flujo de material circulante reutilizado al interior de la organización [1].

2.3 Herramientas para la evaluación de sostenibilidad

Un sistema de indicadores es fundamental para evaluar la sostenibilidad de una actividad humana o entorno [6]. Desde los años 90, la investigación adelantada por organizaciones mundiales y países para evaluar el desarrollo sostenible se ha fundamentado en el uso de sistemas de indicadores. Y aunque se han propuesto varios tipos de indicadores y métodos [7], no se ha logrado unificar o determinar los indicadores de evaluación más adecuados, pues la particularidad de cada proyecto exige su diseño. Los casos de estudios consultados [2], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], muestran de 6 a 30 indicadores [9].

Actualmente, la Unión Europea ha iniciado numerosos proyectos para conocer el nivel de desarrollo sostenible en su territorio, con base en sistemas de indicadores y modelos de análisis para la toma de decisiones estratégicas [10].

La utilidad de un sistema de indicadores para valorar la sostenibilidad se basa en su fácil cálculo e interpretación, así como también en el seguimiento de su comportamiento en contraste con metas establecidas [7].

Otras herramientas empleadas en una evaluación de sostenibilidad son la cadena de valor [6], el análisis del flujo de recursos o materiales requeridos, la valoración del ciclo de vida de equipos, y el análisis de entrada y salida sobre flujos identificados [8].

2.4 Sostenibilidad en entornos

El desarrollo sostenible busca la armonía entre el medio ambiente y la economía, partiendo de un ajuste y control de las condiciones en entornos urbanos [7].

Varios estudios y proyectos de sostenibilidad se han realizado en entornos urbanos y regionales; algunos ejemplos se tienen en las siguientes referencias: Zhangjiajie (China) [2], Tianjin (China) [7], Wenzhou (China) [8], Kláipeda (Lituania) [10], Pomorskie Voivodship (Polonia) [10], Kaliningrado (Rusia) [10], y en actividades como: transporte (China [5] y Nueva Zelanda [3]) industria hierro y acero (China [6]), agricultura (China [15]), porcicultura (Fujian-China [12]), tratamiento de agua (Shanxi-China [13]), construcción (China [14]) y calidad del aire (China [14]).

3. USO RACIONAL DE LA ENERGÍA

La energía desempeña un rol fundamental en las sociedades del mundo industrializado, pues el comportamiento socio-económico de la humanidad presenta una dependencia energética [16]. Su carencia o costo económico generan desequilibrios económicos a escala mundial. No obstante, mientras el consumo de energía aumenta, los recursos energéticos disminuyen, haciendo que se eleve el costo de la energía, hecho que se constituye en una preocupación de carácter global [17].

Los impactos debidos al uso de energía se pueden catalogar como favorables, cuando permiten el desarrollo y una vida más cómoda para el hombre, y desfavorables cuando atentan contra la supervivencia, limitando las condiciones de vida o alterándolas de forma negativa, como la acidificación, el calentamiento global, los residuos, el agotamiento de los recursos energéticos no renovables, etc. [18], [19].

La industria mundial consume a gran velocidad las reservas de combustibles fósiles para mantener el estilo actual de vida, éstos se queman en grandes cantidades, generando el problema del calentamiento global [16].

De los combustibles fósiles, carbón, petróleo y gas, depende la mayor parte de la industria y el transporte en la actualidad y suministran el 85% de la energía consumida en el mundo. La energía de estos combustibles se obtiene al quemarlos, proceso en el que se forman grandes cantidades de anhídrido carbónico y otros gases contaminantes que se emiten a la atmósfera [19].

El costo económico e impacto ambiental son los principales obstáculos que han frenado en el pasado las aplicaciones masivas de las fuentes de energía renovables. Aunque las energías tradicionales, petróleo, gas, carbón, uranio presentan un costo bastante más alto que el registrado en el mercado, si se tiene en cuenta el costo que supone limpiar la contaminación que provocan o disminuir sus daños ambientales [16].

Entre los problemas energéticos a nivel mundial se tienen: el agotamiento de los hidrocarburos, el incremento de sus precios y el calentamiento global, junto al consumismo; la falta de conciencia de las empresas por el desarrollo sostenible hacen temer un desalentador panorama, dejándose intuir los grandes esfuerzos que se necesitan para encauzar el rumbo a un futuro menos autodestructivo [20].

En los últimos años, debido a los problemas antes expuestos, se ha iniciado una lucha por el desarrollo sostenible, parte de dichos esfuerzos se encaminan a realizar el mejor uso posible de los energéticos existentes, elevándose la eficiencia de los procesos manejados por las empresas. Existen instrumentos y procedimientos como la caracterización energética [21], la auditoría energética [22], el análisis energético [20] y la gestión energética [20], [23], [24] que facilitan en menor o mayor grado lograr el objetivo del uso racional de la energía [25].

Según la Ley URE, 697 de 2001, URE se define como el aprovechamiento óptimo de la energía en todas y cada una de las cadenas energéticas, desde la selección, la generación hasta el consumo incluyendo su reutilización cuando sea posible, buscando siempre el desarrollo sostenible [26].

Parte del aumento de la utilización de las energías renovables se deben al incremento en el precio de la energía, así como la mejora en la administración de recursos energéticos [17] [23].

La eficiencia energética se constituye en un tema estratégico en la política energética nacional debido a la incertidumbre en el abastecimiento de energía en los

próximos años por la disminución en la producción de petróleo y el poco éxito en el descubrimiento de nuevos yacimientos [27].

4. EXERGÍA

En la primera ley de la termodinámica se indica que la energía no puede ser creada ni destruida, aunque si puede transformarse en diferentes formas. Cada forma de energía tiene una calidad específica, que indica la cantidad de trabajo mecánico máximo que podrá extraerse, lo que se denomina exergía [28]. Este término fue introducido por Zoran Rant en 1953 [29].

La exergía puede ser descrita a través del concepto de la entropía. A mayor entropía menor exergía. La segunda ley de la termodinámica precisa que toda conversión de energía incrementa la entropía y por ello la exergía disminuye, i.e. en la medida que una misma cantidad de energía sea transformada varias veces en diferentes formas, se tendrá cada vez menos posibilidad de extraer trabajo mecánico [28].

Es importante entender que la exergía a diferencia de la energía depende del desequilibrio existente entre un sistema físico y el ambiente circundante [30]. Para ese sistema físico se describe su estado, propiedades y funciones al conocer variables tales como: presión (P), volumen (V), temperatura (T), masa (m), energía interna (U), entalpía (H), volumen específico (v), y entropía (S) [31]. Los cambios energéticos totales se determinan al aplicar la primera ley de la termodinámica [32].

Así mismo, que la cantidad de exergía de una forma de energía inicial, e.g. energía cinética, es mayor que la cantidad de exergía utilizada de una forma de energía final, e.g. energía térmica. Esta destrucción de exergía se debe a dos factores: irreversibilidades y pérdidas de exergía. Las irreversibilidades se producen por las limitaciones naturales de la forma de energía final, e.g. relación de Carnot. Pero las pérdidas de exergía se deben a las limitaciones tecnológicas de los equipos que transforman la energía, y transportan o utilizan la exergía [33].

La eficiencia exergética será mayor en la medida en que las pérdidas exergéticas sean minimizadas. La única manera de eliminar las irreversibilidades es cambiar el tipo de transformación [34].

El manejo del concepto de exergía exige la modificación o adaptación de los instrumentos utilizados para estudiar

el URE, de manera que pueda realizarse una gestión de los recursos energéticos con un enfoque exergético [25]. Para aplicar este enfoque se requiere conocer el análisis exergético y la termoeconomía.

4.1 Análisis exergético

Se concibe como una *nueva herramienta* para administrar los recursos energéticos, evaluar y diagnosticar el consumo y uso de la energía, que indica cómo, dónde y cuánto equivale el consumo de energía [20].

Se puede apreciar como en estos últimos años el concepto de exergía se ha venido empleando para la realización de análisis de eficiencia energética en las diferentes procesos: plantas térmicas [35], industrias petroquímicas [36], industrias químicas [37], [38], refinerías [39], [40], plantas de producción de acero [41], de motores de combustión [42], industrias azucareras [43], industrias de pasta de tomate [44], industrias de turbina de vapor [45], entre otras.

El análisis exergético de cada uno de los procesos que componen una instalación permite valorar su contribución a la pérdida global de rendimiento de la instalación, por pérdidas separadas [34].

Todo el despilfarro de exergía que hay en una instalación, representa todo el ahorro de energía (exergía) que puede obtenerse. Pero no todo el ahorro de energía termodinámicamente posible puede ahorrarse técnicamente [34].

El análisis exergético da el máximo ahorro de energía posible termodinámicamente en las condiciones reales de la instalación, y en cada uno de los aparatos que componen la misma [46], [47]. Pudiéndose comparar el balance exergético de la instalación en funcionamiento real respecto del balance en condiciones de diseño de la planta, con cuyo análisis, por pérdidas separadas, se podría obtener el ahorro técnicamente posible en dicha instalación [34].

Los modelos exergéticos son elementos fundamentales para el análisis exergético. Se establecen como una representación de lo que ocurre con la exergía y su transformación en las diferentes partes del sistema, por lo general se presenta de forma gráfica y posee un planteamiento matemático que describe el comportamiento de los flujos exergéticos, con un nivel de desagregación en función de la profundidad del análisis termoeconómico que se desea realizar [25].

Algunos de los modelos exergéticos establecidos hasta el momento en el grupo de investigación de sistemas de energía eléctrica–GISEL de la Universidad Industrial de Santander son: transformadores [48], [49], iluminación [48] [49] aires acondicionados [48], [50], nevera [40], cámara de bioseguridad [40], sistema de calderas [50], sistema de bombeo [51], torno [25], troqueladora [25], cincadora [25], tanque de tratamiento químico [25], cortadora [25], molino [25], prensa de vulcanizado [25], sistema hidráulico de vulcanizado [25], generador de aceite caliente del sistema de vulcanizado [25].

4.2 Análisis termoeconómico

La termoeconomía es una ciencia emergente que combina principios termodinámicos y económicos, para evaluar la eficiencia de los procesos y el costo de los productos. El costo puede ser energético o financiero. El costo energético sirve para establecer las ineficiencias de los distintos equipos y/o procesos, y para encontrar como pueden reducirse para generar un ahorro [47], [52]. El costo financiero expresa el efecto económico de dichas ineficiencias, y se usa para aumentar la efectividad de los procesos de producción [53].

El análisis termoeconómico combina la Primera y Segunda Ley de la Termodinámica con datos económicos e introduce conceptos nuevos como *Fuel y Producto, estructura productiva, ahorro exergético, costo de irreversibilidades, consumo adicional de fuel, malfunción, etc.*

La mayoría de los expertos en esta materia concuerdan en que la exergía se puede definir como el concepto termodinámico más adecuado para asociarla al costo, ya que contiene información de la Segunda Ley de la Termodinámica y tiene en cuenta la calidad de la energía [53], [54].

Los métodos termoeconómicos son las herramientas para realizar los análisis termodinámicos y pueden subdividirse en dos categorías [55]: los basados en la asignación de costos (por ejemplo la teoría del costo exergético [56], [57], [58]; la aproximación del costo medio [59]; entre otros), y los basados en técnicas de optimización (por ejemplo el análisis termoeconómico funcional [60]; análisis funcional ingenieril [61]; aproximación inteligente funcional [62]).

Los métodos de asignación de costos permiten saber el costo real de los productos, por lo que se presentan como una base racional para ponerles un precio; mientras que

los de optimización se usan para conseguir las óptimas condiciones de diseño u operación.

Desafortunadamente, hay tantas nomenclaturas como métodos, creando confusión y dificultades para compararlos, impidiendo el desarrollo global de la disciplina [63]. La teoría estructural de la termoeconomía [64], [65], proporciona una formulación matemática general y sistemática con un modelo lineal que vale para todas las metodologías.

Todas las metodologías usan la exergía para repartir los costos, incluso cuando uno o varios subproductos se generan, y sus resultados pueden ser reproducidos fielmente por la Teoría Estructural [66], [67].

La mayor aplicabilidad de la termoeconomía se relaciona con el campo de los sistemas térmicos y químicos, que se caracterizan por flujos continuos, lo que implica un desarrollo matemático específico. En [25] se realiza una validación de un método termoeconómico, la teoría del costo exergético, en sistemas no continuos y no cerrados, mediante un análisis realizado a líneas de producción del sector de auto-partes.

5. EDIFICACIONES SOSTENIBLES

Actualmente, se aprecia la consolidación de principios sostenibles en la ingeniería, de allí surge el concepto *green engineering* (GE) y de manera particular *green building* (GB) en el sector de la construcción. Estos conceptos asocian la utilización de energías renovables.

Green engineering busca un balance entre la actividad productiva y el medio ambiente, dos pilares del desarrollo sostenible. Su surgimiento y consolidación se debe a la creciente legislación ambiental en países desarrollados, al incremento en el costo del tratamiento requerido de los residuos para reducir su impacto ambiental, a la demanda de responsabilidad social y a la necesidad de las empresas por mantener y/o mejorar su imagen corporativa. También hacen parte de esta tendencia el re-uso de partes funcionales de equipos con vida útil cumplida, la re-manufactura para aumentar el ciclo de vida de equipos mediante acondicionamiento, y el reciclaje [68].

En el sector de la construcción, el concepto *green engineering* se ha venido implementando con la construcción de *green buildings*, debido a que las edificaciones construidas de forma tradicional realizan un consumo significativo de recursos y por tanto son generadoras de cantidades importantes de CO₂ [69], en

particular por los sistemas de aire acondicionado y la iluminación [70].

Los edificios utilizan el 40% de los recursos naturales, consumen entre el 30 y el 50% de la energía eléctrica [71], [72] y el 12% del agua potable, y producen entre el 45 y el 65% de los residuos, y el 30% de los gases de efecto invernadero [71]. La mitad del consumo energético en las edificaciones se debe a aires acondicionados (refrigeración o calefacción) [72], [73] y cerca del 20% a la iluminación [73].

6. GREEN BUILDING: ALTERNATIVA AMBIENTAL

Al ser las edificaciones espacios importantes para el desarrollo de actividades humanas deben estar alineadas con el desarrollo sostenible [74]. Debido a su significativo impacto ambiental, se han venido emprendiendo esfuerzos importantes para masificar la construcción de *green buildings*. Esta tendencia genera beneficios ambientales, económicos, financieros y sociales [75].

Los *green buildings* son energéticamente eficientes, conservadores de agua, durables, no tóxicos, con alta calidad de espacios y materiales altamente reciclables. Sus dos aspectos más significativos son la reducción del impacto ambiental y una adecuada calidad del ambiente interior [75]. Su éxito depende de la calidad y eficiencia de cada uno de los sistemas verdes instalados o aplicaciones sostenibles; por ello, es importante una adecuada selección de tecnologías y materiales [71], [72].

La construcción de *green buildings* tienen como objetivos: optimizar la eficiencia energética y acuifera, establecer estrategias de responsabilidad ambiental, reducir los residuos, seleccionar materiales durables y de poco mantenimiento, y proteger la calidad interna del aire [76]; todo ello, con el fin de conservar recursos como energía, tierra y agua, mediante la reducción de su consumo, con lo cual se protege el medio ambiente y se reduce la emisión de contaminantes, lográndose entornos más saludables [75], [77].

Según el *World Green Building Council* y la *Comision for the Environmental Cooperation*, al construir de manera sostenible se pueden obtener ahorros entre el 50 y el 90% en los costos de desechos de construcción, entre el 30 y el 70% en el consumo de energía eléctrica, entre el 30 y el 50% en el consumo de agua potable, además, una reducción del 35% en emisiones de CO₂

y un aumento de la productividad entre el 2 y el 16% [78], [79], [80].

Los *green buildings*, a parte de generar un impacto positivo a la salud y al medio ambiente, también reducen costos operativos y son un elemento esencial en el surgimiento de una cultura de sostenibilidad en la sociedad [81].

La construcción de edificaciones sostenibles requiere de nuevos diseños y metodologías de mantenimientos de la estructura. Además, es un factor fundamental para el crecimiento de una economía con espíritu sostenible [82].

Algunas de las nuevas denominaciones utilizadas para la construcción de edificaciones que monitorean efectos directos e indirectos sobre el ambiente y su nivel de sostenibilidad son: *environmental-free*, *bio-architecture*, *eco-building* [72], *sustainable building*, *passive architecture*, *bio-climate*, *energy efficient building* [82].

Es fundamental para la consecución de un *green building* generar una conciencia sostenible en los diseñadores y responsables de la construcción, realizar un *benchmarking* en estructuras similares para revisar el diseño realizado [81]. Su ciclo de vida, planificación, diseño, construcción, operación, desmantelamiento y re-uso, debe caracterizarse por buscar un nivel de armonía ambiental lo más alto posible [83]. Así mismo, su construcción debe tener en cuenta aspectos de obsolescencia en las siguientes perspectivas: física, económica, funcional, social, tecnológica y legal [84], y un enfoque sistémico que busque cumplir los requerimientos de sostenibilidad, considerando las siguientes dimensiones: ambiental, social económica, seguridad, funcionalidad y estética [82].

Las energías renovables ofrecen importantes alternativas para los *green building* porque reducen el consumo de combustibles fósiles, la producción de gases de efecto invernadero, y el consumo de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de recursos naturales. Las más utilizadas son la energía solar, eólica y la producida con biomasa [70], [77].

La consolidación de los *green building* se ha ido dando en la medida en que se han establecido metas gubernamentales para la disminución de emisiones contaminantes y la conservación del medio ambiente [85].

7. EDIFICACIONES SOSTENIBLES EN ESTADOS UNIDOS

Estados Unidos es uno de los países desarrollados que impulsa con gran decisión el diseño y construcción de *green buildings*. Se soporta en instituciones como el *U.S. Green Building Council* [86], *Department of Energy* [86], *Comision for the Environmental Cooperation* [80], *World Business Council for Sustainable Development* [87] y *Center for Green Technology de Chicago* [88], en la acreditación de construcciones sostenibles mediante reconocimiento oficiales [88], como Silver-LEED, Gold-LEED y Platinum-LEED [86] y en investigaciones académicas de universidades, las cuales realizan la monitorización el consumo de los recursos y la evaluación de impactos de los recursos requeridos para la construcción [76], [86].

Algunos ejemplos de edificaciones sostenibles en Estados Unidos son: Millenium Park [88], y 111 South Wacker Drive (Chicago) [87], Green Star [71], Buena Park [89], Oficinas Corporativas de Heifer (Arkansas) [87], Edificio Lewis y Clark (Missouri) [87], Solaire (Nueva York) [87], Oficinas Centrales de Alberici Corporation (Missouri) [87], Centro Nacional de Cómputo de la EPA (Carolina del Norte) [87], Centro de Estudios Ambientales Philip Merrill (Maryland) [87] y New Building (Museo) de la Academia de Ciencias de California [90].

8. ESTÁNDARES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES SOSTENIBLES

Alrededor del mundo ya se han establecido algunos estándares y normas que fijan criterios sobre la sostenibilidad de las edificaciones, tales como: ASHRAE 90.1-2004 (Estados Unidos) [73], EN 832 (Alemania) [91], GB50189-2005 y GB/T50378-2006 (China) [73], Code 19 (Irán) [91], TS 825 (Turquía) [91]. Las normas ISO 14001 y 9164 establecen algunos lineamientos aplicables para edificaciones sostenibles [91]. También se han establecido algunas guías para facilitar la construcción sostenible, tal es el caso de los cinco manuales ICARO (Iluminación, Calor, Aire, Ruido y Objetivos), desarrollados por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (España) [92], y las guías LEED *U.S. Green Building Council* (Estados Unidos) [87].

9. GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La luz solar es un importante recurso natural que puede aprovecharse mediante tecnologías activas, como la solar fotovoltaica y la solar térmica, y pasivas, como la iluminación natural [93], [94].

La energía solar fotovoltaica puede mejorar significativamente el nivel de sostenibilidad de la edificación [69], al ser una fuente de energía limpia, reduciendo el pico de energía eléctrica consumida de la red eléctrica [70]. Después de instalados los sistemas fotovoltaicos no requieren combustible y no generan gases de efecto invernadero [93].

Actualmente, la tendencia mundial es incentivar la instalación masiva de estos sistemas mediante apoyos gubernamentales, como la ausencia de impuestos. Los países del norte de África y medio oriente están apostando intensamente a la generación de energía eléctrica solar, con proyectos a realizarse en las próximas décadas, de manera que disminuya significativamente su dependencia de combustibles fósiles, con lo cual también se disminuirán las emisiones contaminantes [89].

Un sistema fotovoltaico es un sistema que se compone principalmente de paneles, comúnmente de silicio, baterías [70] y convertidores. La energía eléctrica obtenida por el sistema es en corriente continua y generalmente se convierte en corriente alterna para alimentar los sistemas eléctricos de la edificación [93].

A pesar de sus múltiples ventajas, estos sistemas no son fácilmente implementados, debido a que su costo inicial aún es significativo y tienen baja eficiencia de conversión energética [70], [89], [95]. En [95] se especifica un rango de eficiencia energética entre el 4 y el 22%, similar a lo expuesto en [94] que indica un rango entre el 6 y el 18%.

En la tabla 1 se presenta una comparación de varias tecnologías de generación eléctrica desde la manufactura hasta la operación. Los factores analizados son: costo, contaminación generada y eficiencia energética.

Tabla 1. Comparación de costo, emisiones de dióxido de carbono y eficiencia de tecnologías de generación eléctrica [95].

Tecnología	Costo USD/kWh	Contaminación g CO ₂ / kWh	Eficiencia %
Solar	0,24	90	4-22
Eólica	0,07	25	24-54
Hidroeléctrica	0,05	41	>90
Gas	0,05	543	45-53

Según la información mostrada en la tabla 1, los sistemas fotovoltaicos tienen el costo por kWh más alto, y la eficiente más baja; aunque sus emisiones son relativamente bajas. Estas características buscan ser compensadas con el ahorro en el consumo de energía eléctrica de la red interconectada.

En China, la utilización de sistemas fotovoltaicos en edificaciones ha permitido reducir las emisiones de efecto invernadero de forma significativa (CO₂, SO₂, NO_x). En este país, el costo de un sistema fotovoltaico alcanza casi los US 1 300 por cada metro cuadrado [70].

La parte más visible y conocida de un sistema fotovoltaico es el panel. Pueden encontrarse instalado en azoteas [77], [93] o como ventanal soportado en estructuras de aluminio [77].

Los paneles tipo *see-through PV*, denominados traslucidos y que se instalan como ventanas o techos han tenido importantes mejoras y una gran acogida debido a su doble función: generación eléctrica fotovoltaica e iluminación natural de interiores [70], [77]. Permiten aprovechar el 10% de la iluminación natural, bloquean los rayos ultravioletas; así mismo, reducen el incremento de la temperatura interior permitiendo sólo el ingreso del 10% del calor de la luz solar, en consecuencia reducen el consumo energético por aires acondicionados, a diferencia de las ventanas tradicionales. Son una excelente alternativa para combinarse con *green-roof* en azoteas. Un panel traslucido con un área cercana a un metro cuadrado puede generar más de 40W y tener un peso de 11kg [77].

10. ILUMINACIÓN NATURAL

El confort visual es un factor importante en las edificaciones, por ello la iluminación representa entre el 20 y el 30% del consumo energético. Este consumo puede disminuir si se aprovecha la luz solar [73].

La iluminación natural permite aprovechar gran cantidad de luz solar que es de alto confort visual, por ello es la mejor manera de iluminar los espacios diseñados para actividades humanas [96].

Un correcto diseño de la iluminación permitirá resaltar la arquitectura interior y crear una atmósfera agradable para los ocupantes [96].

La iluminación natural del interior de una edificación depende de la cantidad y dirección de la luz solar que llegue del exterior, y del tamaño y ubicación de las

ventanas u otros orificios, que son los medios para conducir la luz al interior [96].

Los tipos de fuentes de luz natural se denominan: componente solar directa, componente solar difusa y componente reflejada del terreno y componente reflejada de obstáculos [96].

El aprovechamiento de la luz solar permite conseguir un ahorro financiero debido a la disminución del consumo de energía eléctrica por iluminación [97], [70]; por esta razón, la arquitectura solar pasiva está incrementando su popularidad [69].

Los paneles solares traslucidos o *see-through PV* son también utilizados en la iluminación natural [70], [77].

Otro mecanismo utilizado para iluminar el interior de las edificaciones con luz natural es la fibra óptica, que transmite la luz solar concentrada por una antena hasta el ambiente que se quiere iluminar [98].

11. APROVECHAMIENTO DE AGUAS GRISES

Las aguas grises se definen como las aguas urbanas residuales que incluyen las aguas de baños, duchas, lavadoras, lavavajillas, fregaderos, exceptuando el agua sanitaria. Son el 80% de las aguas residuales en edificios y tienen un nivel alto de ser biodegradables. Debido a sus bajos niveles de patógenos contaminantes¹ y nitrógeno, su reutilización y reciclaje es cada vez más común. [99], lo cual genera ahorros cercanos al 50% del consumo de agua potable en edificaciones [80].

El agua tratada en edificaciones debe tener usos restringidos, como servicios agrícolas o urbanos, en ningún caso debe considerarse para el consumo humano directo [99].

Los procesos para el tratamiento del agua pueden ser físicos, químicos y biológicos. Deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos: salubridad, estética, tolerancia ambiental y viabilidad económica. Para mejorar la eficacia del proceso, es importante realizar la separación de residuos sólidos antes del proceso de tratamiento, así como la desinfección posterior [99].

Los procesos físicos incluyen arena, suelo de filtrado y una membrana de filtración. Estos procesos no son

1. Toda aquella entidad biológica capaz de producir enfermedad o daño en la biología de un huésped (humano, animal, vegetal, etc.) sensiblemente predispuesto [Tomado de www.wikipedia.com / abril de 2009].

suficientes para garantizar una adecuada reducción de sustancias orgánicas, nutrientes y agentes tensoactivos², que si pueden ser efectivamente removidos con los procesos químicos, que aplican coagulación, oxidación foto-catalítica, intercambio de iones, y carbón granular activado [99].

Los procesos biológicos pueden clasificarse en aerobios o anaerobios. Los procesos más conocidos son: *rotating biological contactor (RBC)*, *sequencing batch reactor (SBR)*, *anaerobic sludge blanket (UASB)*, *constructed wetland (CW)*, and *membrane bioreactors (MBR)* [99].

Los procesos anaerobios no son recomendados para el tratamiento de aguas grises debido a la baja eficiencia en la remoción de sustancias orgánicas y agentes tensoactivos [99].

La combinación de procesos aeróbicos con filtración y desinfección es considerada la solución más económica y viable para el reciclaje de aguas grises [99].

12. GREEN ROOF

Generalmente, las superficies de las azoteas de los edificios son de concreto y a veces están recubiertas de asfalto u otros derivados para impermeabilizar la placa superior.

La radiación solar absorbida por el concreto y/o el asfalto, que es de color oscuro, aumenta la temperatura de la azotea y como consecuencia la temperatura del interior de la edificación [77]. En los techos con colores claros este efecto es de menor intensidad [100].

El aumento de la temperatura en el interior de la edificación crea desconfort térmico, lo cual ocasiona el uso de aires acondicionados para alcanzar y mantener un ambiente agradable para las personas al interior [77]. Los picos de mayor consumo para la refrigeración ocurren en los picos de radiación solar [69].

Un aislamiento térmico en la terraza traería como consecuencia la disminución del consumo energético por refrigeración.

Una estrategia actualmente utilizada como aislamiento térmico en las azoteas es la vegetación, pues se ha demostrado su efectividad para refrescar la superficie del techo y el ambiente interior de la edificación [77]. A esta aplicación sostenible se le denomina *green roof* o *eco - roof* [101].

2. Sustancias que influyen por medio de la tensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases [Tomado de www.wikipedia.com / abril de 2009].

Esta técnica es utilizada para mejorar aspectos ambientales en entornos urbanos [102]. Puede ser acompañada con paneles solares tradicionales o translúcidos [77].

Las paredes recubiertas por vegetación son otro elemento significativo para disminuir la temperatura y ruido al interior de una edificación [103], [104].

Aunque es una aplicación reciente, ha tenido gran acogida debido al logro de significativos ahorros energéticos, su atractivo estético, y al mejoramiento en la calidad del aire y del hábitat [101], [102].

Los *green roof* se componen de varias capas, tales como: vegetación, suelo de crecimiento (orgánico), drenaje, barrera de crecimiento y barrera impermeable, ubicadas en el orden mencionado. El grosor de la aplicación generalmente está entre 10 y 20 cm, aunque se registran casos de hasta 30cm [101].

Las características más importantes a tener en cuenta para la selección y mantenimiento del suelo son: conductividad térmica, capacidad de calor específico y densidad. Así mismo, las características prioritarias de la vegetación son: altura, área de la hoja, fracción de cobertura, *albedo* y *stomatal resistance*. La fracción de cobertura se refiere a la porción de la superficie del techo que es cubierta por una o más hojas; *albedo* es la reflectancia de la superficie a la luz incidente; y *stomatal resistance* es un parámetro biofísico que relaciona la humedad que puede ser admitida por la planta [101].

En [102] se realiza una valoración del impacto ambiental de esta aplicación sostenible pasiva utilizando el LCA (*Life Cycle Analysis*), y se concluye que es una buena aplicación debido a su alta permanencia en el tiempo, de 25 a 50 años, a la reducción de las emisiones de CO₂ en casi la mitad al compararse con la ventilación mecánica, y por ofrecer ahorros energéticos entre el 25 y el 50%.

Según el estudio realizado en [41, EL] [100] la temperatura del techo y la del interior cercano podría reducirse entre el 5 y el 10°C en el momento más caluroso del día, si hay un recubrimiento de césped sobre el concreto. Esto se lograría a pesar de que el césped no tiene un alto nivel de reflectancia y absorbería una cantidad de calor considerable, pero la cual no se acumularía en el concreto, porque sería transferida al ambiente al evaporarse el agua contenida en el césped y el suelo orgánico, por esta razón, el flujo de calor hacia el concreto disminuirá de todas formas. Debido a que

el agua contenida en el *green roof* puede almacenar una cantidad importante de calor, su cantidad debe ser controlada.

En [105] se realiza un contraste entre diferentes superficies para determinar las implicaciones en el consumo de energía por refrigeración y calefacción. Las superficies analizadas fueron: asfalto, concreto, plantas y tierra. El estudio es realizado en diferentes ciudades capitales alrededor del mundo: Atenas, Mumbai, Brasilia, Hong Kong, Riyadh, Moscú, Londres, Beijing y Montreal. Al considerar sólo ciudades cercanas al trópico para relacionar los resultados con ciudades como Bucaramanga, se encontró que los techos recubiertos con vegetación pueden disminuir la temperatura de los espacios interiores de 2 a 6°C en la noche y de 6 a 8°C en el día. Con respecto al efecto en el consumo energético, si se considera una temperatura media interior de 23°C, los *green roof* podrían generar ahorros entre el 25 y el 40%, los *green wall* entre el 35 y el 70%, y ambas iniciativas aplicadas simultáneamente entre el 70 y el 100% del ahorro.

Una necesidad creciente es la de generar herramientas que permitan a diseñadores y arquitectos fácilmente establecer los parámetros de diseño de un *green roof*. Una de las primeras aplicaciones ha sido desarrollada por el *Department of Energy* (DOE), con su plataforma de simulación denominada *EnergyPlus* [101].

13. VENTILACIÓN NATURAL

En las edificaciones residenciales y de servicios actuales el sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC por sus siglas en inglés) es utilizado para proporcionar confort térmico y tratar de mejorar la calidad interior del aire en espacios cerrados [72], [106].

Los HVAC representan entre el 50 y el 70% del consumo energético en las edificaciones [73], [106], y son responsables de la mitad de las emisiones de CO₂ [107]. Actualmente, su utilización se está incrementando, lo cual aumenta su nivel de impacto en la contaminación atmosférica y el calentamiento global [72], [106].

Como alternativa que atienda la necesidad del confort térmico y una adecuada calidad interior del aire se puede considerar la ventilación natural, que se ha convertido en una práctica creciente en las nuevas edificaciones que son construidas con un sentido ambiental [106]. Esta práctica reduce el consumo energético por ventilación mecánica, y en consecuencia reduce las emisiones

de efecto invernadero, especialmente de CO₂ [107]. Algunos aspectos atractivos de esta alternativa son: el uso de aire limpio para las personas al interior, siendo una medida saludable, y la disminución del consumo energético de la red eléctrica [106].

Una edificación ventilada de forma natural se caracteriza porque el movimiento del aire es el resultado de la diferencia de presiones producida por el viento y fuerzas flotantes [106]. Para modelar y simular estos sistemas son comúnmente utilizados los *computational fluid dynamics* (CFD) [106], [108].

Para el diseño de edificaciones con ventilación natural se deben considerar los siguientes aspectos: el comportamiento de los flujos de aire en espacios cerrados, las diferencias de presión, las corrientes externas de viento, la temperatura, la humedad del aire, la radiación solar, las precipitaciones, como los más importantes [72], [106].

La ventilación natural como práctica sostenible implica la realización de modificaciones en la estructura, aún así el costo total de este sistema es 40% menor comparado con un sistema HVAC tradicional [106] y adicionalmente se puede disminuir el consumo energético entre un 30 y un 50% [108].

Las aplicaciones de ventilación natural existentes se pueden clasificar: ventilación natural tradicional y ventilación natural avanzada, NV y ANV por sus siglas en inglés [107].

Los sistemas NV consisten en aberturas realizadas en las fachadas de las edificaciones para permitir la entrada de aire fresco y salida de aire caliente. Tienen como desventajas las contaminaciones auditivas y por gases [107].

Los sistemas ANV se diferencian de los sistemas NV porque hacen uso de chimeneas, las cuales facilitan el flujo de aire caliente, que es menos denso, hacia el exterior, y el control de la capacidad de refrigeración de entornos internos. Las chimeneas permiten la entrada de aire fresco por la planta baja de las edificaciones, el cual es entregado piso a piso mediante aberturas debidamente ubicadas. La disminución del consumo energético con los dos sistemas es similar [107].

Los cuatro tipos de sistemas ANV son: (1) *Edge-in, Edge-out*, (2) *Edge-in, Centre-out*, (3) *Centre-in, Edge-out*, y (4) *Centre-in, Centre-out*. *Edge-in* hace relación a que la entrada de aire se realiza por una parte lateral

de la edificación, e.g. una pared, y *Edge-out* a que la salida de aire ocurre por medio de una chimenea lateral. *Centre-in* y *Centre-out* indican que la entrada y la salida de aire se realiza a través de chimeneas ubicadas en partes intermedias de la edificación [107].

En [107] se ha logrado realizar una estimación del área requerida de la chimenea en función del calor que debe ser extraído y el flujo de aire que puede presentarse. Esta área puede oscilar entre 4 y 20 metros cuadrados.

Otra estrategia para disminuir el consumo energético y lograr un confort térmico es utilizar sistemas híbridos o mixtos de ventilación natural y ventilación mecánica. Con esta estrategia se obtienen resultados muy satisfactorios para los usuarios de las edificaciones [107], [109].

14. EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE EDIFICACIONES

La edificación como entorno para el desarrollo de actividades humanas puede ser evaluada utilizando como referente aspectos del desarrollo sostenible. Las principales preguntas a responder son: ¿cuántos recursos son usados y cuál es su impacto ambiental?, ¿cuánto costo ambiental representan estos beneficios? Algunas metodologías ambientales pueden proveer esta información [72], [110]. Tal como se expuso en la sección 2, el mecanismo por excelencia para realizar evaluaciones de sostenibilidad es un sistema de indicadores.

El sistema de indicadores de un *green building* debe ofrecer una completa descripción del rendimiento y comportamiento de la edificación [82], [83]. Los indicadores deben basarse en la apropiación del concepto de desarrollo sostenible realizada para la edificación [82]. Ha de cubrir aspectos básicos tales como la conservación de recursos, la protección ambiental, la reducción de contaminación, la inversión, la salud y otros aspectos de confort [83].

Es recomendable que la evaluación sea diseñada e implementada desde la misma planificación de la edificación, pues esto hace más relevantes los aspectos de sostenibilidad [83]. Así mismo, se deben identificar desechos generados por actividades humanas, equipos y la misma edificación. Para lograr que la evaluación sea eficaz se debe procurar analizar la edificación como un conjunto de procesos [82].

Los indicadores de sostenibilidad pueden ser estáticos o dinámicos. Son estáticos todos aquellos que su medida no cambia, e.g. impacto ambiental de los materiales de construcción utilizados. Los indicadores dinámicos relacionan aspectos potenciales para la edificación, como alguna fuente de energía renovable, o de mejoramiento, como el reciclaje de residuos. Los indicadores dinámicos permiten establecer metas para mejorar en el tiempo, facilitan perspectivas y la identificación de problemas [82].

Al revisar publicaciones se encuentran varias propuestas que establecen cuáles han de ser los aspectos centrales de evaluación de sostenibilidad. En [89] estos aspectos son: la generación de energía eléctrica renovable en sitio, la minimización del uso de combustibles fósiles, y el uso eficiente de la energía solar pasiva. En [95] se proponen los siguientes aspectos: el precio de la generación de energía eléctrica, la emisión de gases de efecto invernadero, las capacidades y limitaciones

tecnológicas, la eficiencia de la generación, el uso de la tierra, el consumo del agua y el impacto social. En [82] los factores considerados dentro del sistema de indicadores son: el sitio, la eficiencia energética, la eficiencia acuífera, el material, la calidad del ambiente interior, los desperdicios y polución, y el costo.

Con respecto a la estructura del sistema de indicadores, en [83] se indica que debe diseñarse en niveles de primer, segundo y tercer orden, preferiblemente. En el primer orden se propone: la conservación de recursos, la protección ambiental y la reducción de la contaminación, y las evaluaciones técnica y financiera. Los aspectos del segundo y tercer nivel son obtenidos al desagregar los aspectos de primer orden. Los indicadores del sistema se obtendrán del análisis de los aspectos identificados en el tercer nivel. En [82] también se establece la necesidad de tres niveles en el sistema, se denominan: requisitos de sostenibilidad, criterios e indicadores de sostenibilidad, tal como se presenta en la figura 1.

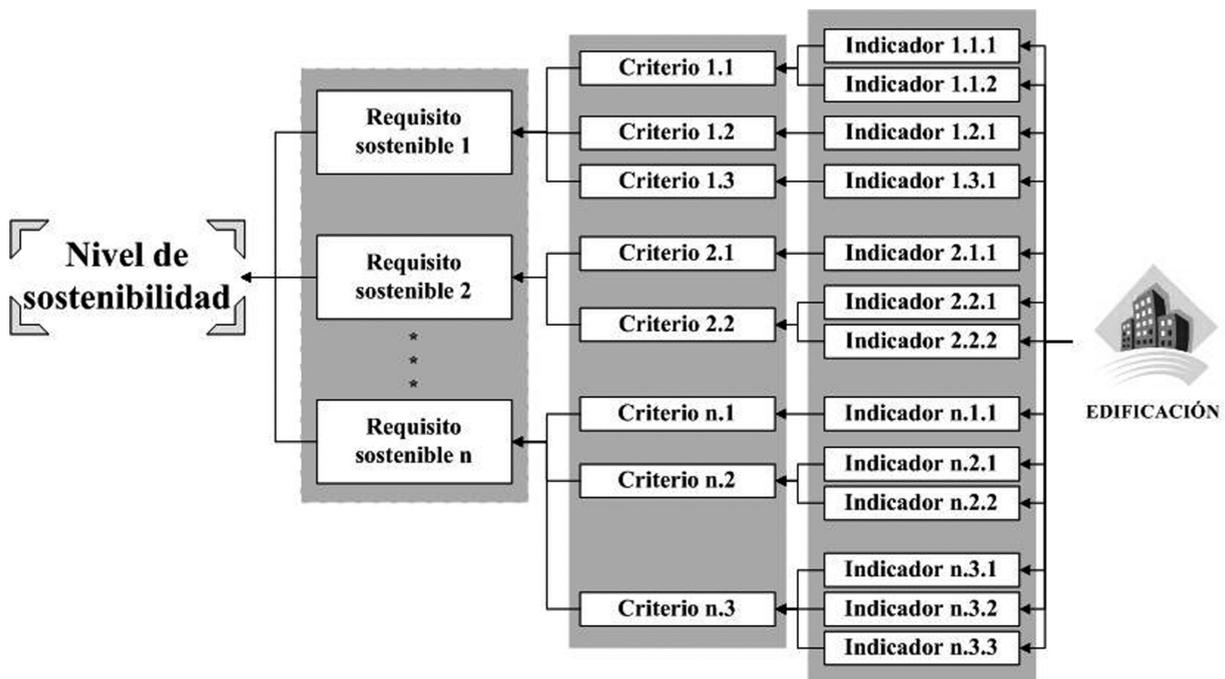


Figura 1. Estructura del sistema de indicadores. Adaptado de [82].

Con respecto a las metodologías más empleadas a nivel mundial para la evaluación de la sostenibilidad de las

edificaciones encontradas en [71] [75] [82] se presenta en la tabla 2 una clasificación de éstas.

Tabla 2. Clasificación de metodologías de evaluación de sostenibilidad.

Criterios	Metodología	País de origen
Basado en el impacto de los indicadores sobre el LCA	<i>GBC-GBT</i>	Finlandia
	<i>PromisE</i>	Finlandia
	<i>BREEAM</i>	Inglaterra-Australia
	<i>ESCALE</i>	Francia
	<i>EcoQuantum</i>	Holanda
	<i>EcoEffect</i>	Suecia
	<i>VERDE</i>	España
Basado en la acción de valoración	<i>LEED</i>	Estados Unidos
Basado en la valoración del impacto usando eco-puntos.	<i>ENVEST</i>	Inglaterra
	<i>CASBEE</i>	Japón

Otras herramientas para la evaluación de la sostenibilidad son BEPAC de Canadá [71], los software SINDEK [84], BUWAL 250 y Sima Pro 6 [85].

Una de las metodologías que permite evaluar la sostenibilidad de una edificación de forma sencilla, es *EcoEffect*. Esta herramienta sueca relaciona en un gráfico bidimensional los dos aspectos más importantes de una edificación sostenible: impacto ambiental debido al consumo de recursos y la calidad del ambiente interior. A cada aspecto se asocia un indicador global, los cuales son: *Internal Impact (ILI)* y *External Impact (ELI)*, donde *ILI* se obtiene de una encuesta de valoración subjetiva sobre el entorno interior, esto debido a que el confort es una apreciación individual, y *ELI* se calcula con base en la energía consumida, sea eléctrica o térmica, por unidad de área [75].

Parte esencial de las metodologías de evaluación de sostenibilidad es el análisis de la eficiencia energética. La herramienta comúnmente empleada para esto, es el análisis energético, el cual se basa en la primera ley de la termodinámica, pero no provee información apropiada de los componentes del sistema. Por ello, se recomienda emplear el análisis exergético que se basa en la segunda ley de la termodinámica, y permite detallar pérdidas específicas [98]. Esta herramienta se expuso con mayor detalle en la sección 4.

En las edificaciones ya existentes la evaluación de sostenibilidad provee información como el potencial de reutilización de algunos recursos y de aprovechamiento de recursos naturales para la generación de energía eléctrica en sitio [84].

El contraste entre una edificación construida con criterios de sostenibilidad y su contraparte tradicional se debe basar en el consumo energético, las fuentes de

energía utilizadas, el impacto por unidad de energía sobre el ambiente, entre otros. Con respecto al impacto ambiental han de tenerse en cuenta principalmente la producción de dióxido de carbono [74].

Como acción complementaria a la evaluación de sostenibilidad, se puede realizar el análisis del impacto ambiental de la edificación, considerando los materiales para su construcción, desde la misma etapa de extracción. La herramienta empleada por excelencia para este análisis es el *Life Cycle Analysis - LCA* [81], [95].

15. CONCLUSIONES

En la revisión bibliográfica se aprecia un crecimiento en la aplicación del concepto de sostenibilidad en actividades y entornos de la sociedad, debido al interés de diferentes comunidades por cuidar el medio ambiente de la contaminación, provocada por los gases y desechos sólidos generados en actividades humanas, y del consumo irracional de los recursos naturales, y por disminuir el costo financiero por consumo de recursos, la mayoría de las veces no renovables. Actualmente, hay diversas organizaciones gubernamentales y del sector privado y universidades que están apoyando iniciativas para afrontar el problema de la sostenibilidad, lo cual se está haciendo de forma multidisciplinaria, involucrando especialmente a las ingenierías, debido a la naturaleza holística de los factores relacionados con las posibles soluciones.

Otro aspecto a resaltar es que el análisis exergético es la herramienta más apropiada para analizar con menor incertidumbre y mayor impacto la eficiencia energética de los procesos. Así mismo, se establece la conveniencia que ésta sea acompañada con el análisis termoeconómico.

La revisión del estado del arte determina que el uso racional de la energía en las edificaciones puede ser alcanzado mediante la aplicación del concepto *green building*. Esta alternativa permite disminuir la demanda de energía eléctrica y aprovechar los recursos naturales en sitio por medio de aplicaciones de energías alternativas que a su vez reducen aún más el consumo de energía eléctrica de la red interconectada. Estos dos aspectos generan un ahorro financiero y reducen la emisión de gases de efecto invernadero.

La finalidad de la revisión del estado del arte ha permitido presentar el concepto de *green building* como una alternativa para el uso racional de la energía para el diseño y construcción del Edificio Eléctrica

2. El grado de aplicación de este concepto dependerá de la implementación de las aplicaciones sostenibles en la edificación, tales como: generación eléctrica fotovoltaica, ventilación natural, iluminación natural, tratamiento de aguas grises y *green roof*, entre otras. La selección y determinación de las especificaciones técnicas de las aplicaciones sostenibles para el diseño de la edificación son objeto actualmente de un proyecto de maestría en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Industrial de Santander.

16. REFERENCIAS

- [1] H. Griese, L. Stobbe, H. Reichl, Ab. Stevels, Eco-Design and Beyond – Key Requirements for a Global Sustainable Development, IEEE, International Conference on Asian green electronics, 2005, pp. 37-41.
- [2] L. Xu, Q. Qi, Z. Wang, Regional Ecological Environment Spatial Data Mining Based on GIS and RS: A Case Study in Zhangjiajie, China. IEEE. Computer society. Fifth International Conference on Fuzzy systems and knowledge discovery. 2008, pp. 266-270.
- [3] R. C. M. Dunn, Evaluating road transport projects in the context of sustainable development. IEEE. Vehicle Navigation & Information Systems Conference Proceedings, 1994, pp. 357-360.
- [4] S. Beder, The Role of Technology in Sustainable Development. IEEE. Technology and society magazine. winter, 1994, pp. 14-19.
- [5] J. Zheng, Congestion Pricing and Sustainable Development of Urban Transportation system, IEEE, Computer society, Workshop on power electronics and intelligent transportation system, 2008, pp. 449-453.
- [6] S. Qiujun, Z. Qun, Evaluation on sustainable development of China's iron and steel industry, IEEE, Computer society, International Symposiums on Information Processing, 2008, pp. 700-705.
- [7] J. Ping, J. Hai-Feng, The Forecasting and Assessing Method for Urban Sustainable Development Tendency, IEEE, 2008, pp. 4346-4349.
- [8] Q. Wang, G. Li, Assessment of Sustainable Development using Multivariate Statistical Techniques and Ecological Indicators: A Case Study of Wenzhou, China, IEEE, 2008, pp. 4267-4270.
- [9] Y. N. Wang, Y. R. Su, Evaluation System to the Sustainable Development of Human Resource Based on Entropy Method, IEEE, International conference on automation and logistics Qingdao, China, 2008, pp. 2625-2628.
- [10] R. Mileriene, S. Gulbinskas, N. Blazauskas, I. Dailidiene, Geological indicators for Integrated Coastal Zone Management, IEEE, 2008, p. 4.
- [11] J. Ping, J. Hai-Feng, The Integrated Forewarning Method Research for Urban Sustainable Development, IEEE, 2008, pp. 4342-4345.
- [12] Y. Zeng, H. Hong, Selecting Suitable Sites for Pig Production Using a Raster GIS in Xinluo Watershed in Southeast China, IEEE, 2008, pp. 2813-2816.
- [13] Y. Cuisong, H. Zhenchun, Resilience Degree: A New Indicator of Sustainable Development to Water Resources System, IEEE, 2008, pp. 3499-3502.
- [14] M. Wu, An Alternative Model for Assessing the Sustainable Development of a Construction Project, IEEE, 2007, pp.5504-5507.
- [15] L. Xu, N. Liang, Q. Gao, An Integrated Approach for Agricultural Ecosystem Management, IEEE, Transactions on systems. Man, and cybernetics. Part C. Applications and reviews, Vol. 38 No. 4, July 2008, pp. 590-599.
- [16] A. Aranda, S. Scarpollini, Análisis de la eficiencia de la industria española y su potencial de ahorro. Revista Economía Industrial. No. 392. 2007, pp. 1-34.
- [17] E. M. Vázquez, Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales. Informes de la construcción. Vol. 52, No. 471, 2001, pp. 29-43.

- [18] Agencia De Protección Ambiental De Los Estados Unidos. RCRA: Reduciendo el riesgo de residuo. 1997. Disponible en <http://www.epa.gov/osw> [citado en septiembre de 2007].
- [19] Cambio climático en Europa. Disponible en: <http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/10CAtm1/351CambCliEu.htm> [citado 15 de septiembre de 2009].
- [20] H. Jaramillo Diaz, Gestión energética en la industria, Estudios Gerenciales, No. 73, Octubre-Diciembre, 1999, pp. 50-60.
- [21] J. C. Campos Avella, G. Carmona, y D. López Forero, Caracterización Energética de Empresas Industriales. Promigas Servicios Integrados S.A. Barranquilla. Colombia, 2005, p. 5.
- [22] AEDIE. Cámara Oficial de Comercio e Industria de Madrid y Comunidad de Madrid. Manual de Auditorías Energéticas. Madrid. Print A Porter. Comunicación, S.L. Madridinnova, 2003, p. 222.
- [23] Á. H. Restrepo, Gestión Total Eficiente de la Energía. Revista SCIENTIA ET TECHNICA, No. 21, Julio 2003, pp. 109 -114.
- [24] S. Gómez, Y. López, y C. Roncancio, Metodología de diagnóstico para estimación de rendimiento energético en pequeñas empresas metalúrgicas. I Congreso Internacional sobre Uso Racional y Eficiente de la Energía - CIUREE 2004. Universidad del Valle. Cali, Colombia. Noviembre 4-6, 2004, Vol. 1, pp. 362-368.
- [25] G. A. Osma Pinto, Metodología para el uso racional y eficiente de la energía desde el enfoque exergético en Industria Cauchos Record Ltda. [Trabajo de grado]. Universidad Industrial de Santander, 2007.
- [26] Ley URE, 697 de 2001. Diario Oficial 44573. Ministerio de Minas y Energía. Bogotá D. C. 03 de octubre de 2001. 11 art. 7 p.
- [27] Oportunidades para la eficiencia energética en Colombia. Disponible en: <http://www.cdtdegas.com/> [citado 20 de Abril de 2009].
- [28] G. Wall, Exergetics, segunda edición. Exergy, Ecology, Democracy. Bucaramanga, Colombia, 2009, 151 p.
- [29] E. Sciubba, G. Wall, A brief Commented History of Exergy From the Beginnings to 2004, International Journal of Thermodynamics. Vol. 10, No. 1, March 2007, pp. 1-26.
- [30] M. C. Rodríguez Marulanda, Exergía: Una oportunidad para el desarrollo tecnológico, [en línea]. Medellín (Colombia). Revista CINTEX-Tecnológico Pascual Bravo, Vol. 1. No 10, 2003/2004.
- [31] Centro Piloto de Capacitación y Optimización de Centrales Térmicas y Estudios Energéticos-CLIOPE. Informe técnico termoeconomía. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica. 1999.
- [32] Ian, Szargut, Exergy Analysis, ACADEMIA. Thermodynamics, Vol. 7, No. 3, 2005, pp 31-33.
- [33] G. Wall, M. Gong, On exergy and sustainable development – Part 1: Conditions and concepts. Exergy, an International Journal, Vol. 3, 2001, pp. 128-145.
- [34] A. Valero Campilla, Bases termoeconómicas del ahorro. 2ª Conferencia Nacional sobre Ahorro Energético y Alternativas Energéticas. 42ª Feria Oficial y Nacional de Muestras. Zaragoza. 1982. Vol. 1, pp 201-221.
- [35] J. Quijano, Exergy analysis for the Ahuacachapan an Berlin Geothermal Fields. Proceedings World Geothermal Congress, Kyushu-Tohoku, Japan, May 28–June 10, 2000, pp 861-866.
- [36] I. Rojas Gordillo, Análisis de exergía en dos puntos críticos en una industria productora de harina de pescado. [Tesis de maestría] Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez, Puerto Rico, 2005.
- [37] T. KOTAS, The exergy method of thermal plants, first edition. Krieger Publishing Company, United States, 1995, p. 268.
- [38] R. Cornelissen, Thermodynamics and sustainable development: the use of exergy analysis and the reduction of irreversibility, [PhD Thesis], University of Twente, 1997.
- [39] A. Hinderink, F. Kerckhof, A. Lie, J. De Swaan Arons, H. Van Der Kooi, Exergy analysis with a

- flow sheeting simulator, Part I Theory, calculating exergies of material streams. *Journal of Chemical Engineering Science*. Oslo. Vol. 51, 1996, pp. 4693-4700.
- [40] A. Doldersum, Exergy analysis proves viability of process modifications. *Journal of energy conversion and management*. USA. Vol. 39, 1998, pp. 1781-1789.
- [41] M. Costa, R. Schaeffer, E. Worrell, Exergy accounting of energy and material flows in steel production systems, *Energy*, Vol. 26, No. 4, 2001, pp 363-384.
- [42] J. Caton, On the destruction of availability (exergy) due to combustion processes with specific application to internal combustion engines energy. *Energy*, Vol. 25, No. 11, 2000, pp 1097-1117.
- [43] M. Fernández-Parra, S. Nebra, The exergy of sugar cane, *Proceedings of 14th European Biomass Conference & Exhibition, Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*, October 17-21 of 2005, Paris, France, pp. 990-997.
- [44] E. Rostein, The exergy balance: A diagnostic tool for energy optimization, *Journal of Food Science*, Vol. 48, No. 3, 2006, pp 945-950.
- [45] T. Ray, R. Ganguly, A. Gupta, Exergy Analysis for performance optimization of a steam turbine cycle, *Power Engineering Society Conference and Exposition in Africa, 2007*. IEEE, South Africa, July 16-20 of 2007, pp 1-8.
- [46] J. Guallar, J. M. Marin, J. A. Turegano, y A. Valero, A. La exergía: Un planteamiento más preciso del ahorro de energía. 2^a Conferencia Nacional sobre Ahorro Energético y Alternativas Energéticas. 42^a Feria Oficial y Nacional de Muestras. Zaragoza, 1982, pp. 397-405.
- [47] C. Torres Cuadra, *Exergoeconomía Simbólica*. [Tesis Doctoral]. Universidad de Zaragoza. 218 p. Disponible en: <http://www.teide.cps.unizar.es>. 1991.
- [48] C. González, P. L. Salazar C, Aplicación del análisis exergético a circuitos de energía en el parque tecnológico guatiguará (PTG). [Trabajo de grado]. Universidad Industrial de Santander, 2007.
- [49] G. A. Therán H, J. C. Posada G, URE: Aplicación del análisis exergético a circuitos eléctricos en los edificios de la Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas y Planta de Aceros de la UIS. [Trabajo de grado]. Universidad Industrial de Santander, 2007.
- [50] N. Barbosa, E. Jiménez P, Aplicación del análisis exergético a circuitos de energía eléctrica en el Hospital Universitario de Santander (HUS). [Trabajo de grado]. Universidad Industrial de Santander, 2007.
- [51] W. A. Bonilla F, Propuesta para un uso racional de la energía en el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga en el sistema de la subestación alimentadora sistema de bombeo de la planta Bosconia. [Trabajo de grado]. Universidad Industrial de Santander, 2006.
- [52] C. Torres Cuadra, y A. Valero Capilla, *Termoeconomía*. Curso de Doctorado. Universidad de Zaragoza. 2000. Disponible en: <http://www.teide.cps.unizar.es>.
- [53] M. Gong, y G. Wall, On exergetics, economics and optimization of technical processes to meet environmental conditions. *Thermodynamic Analysis and Improvement of Energy Systems, TAIES'97*, June 10-13, 1997, Beijing, China, pp 453-460.
- [54] F. J. Uche Marcuello, Análisis termoeconómico y simulación de una planta combinada de producción de agua y energía. [Tesis Doctoral]. Universidad de Zaragoza, 2000, 332 p. Disponible en: <http://www.teide.cps.unizar.es>.
- [55] G. Tsatsaronis, A Review of Exergoeconomic Methodologies. *International Symposium on Second Law Analysis of Thermal Systems*. Rome (ASME Book I00236). ASME, New York, USA, 1987, pp. 81-87.
- [56] A. Valero, M. A. Lozano, M. Muñoz, A General Theory of Exergy Saving. Part I: On the Exergetic Cost. ASME Book H0341A. WAM 1986, AES Vol. 2-3, pp. 1-8.
- [57] A. Valero, M. A. Lozano, M. Muñoz, A General Theory of Exergy Saving. Part II: On the Thermoeconomic Cost. ASME Book H0341A. WAM 1986, AES Vol. 2-3, pp. 9-16.

- [58] A. Valero, M. A. Lozano, M. Muñoz, A General Theory of Exergy Saving. Part III: Energy Saving and Thermoconomics. ASME Book H0341A. WAM 1986, AES Vol. 2-3, pp. 17-22.
- [59] A. Bejan, G. Tsatsaronis, M. Moran, Thermal Design and Optimization, first edition, John Wiley and Sons Inc., New York, 1997, p. 560.
- [60] C. A. Frangopoulos, Thermo-economic Functional Analysis and Optimization, Energy Vol. 12, no. 7, 1987, pp. 563-571.
- [61] M. R. Von Spakovsky, R. B. Evans, Engineering Functional Analysis. Part I. ASME Journal of energy resources technology, Vol. 115, 1993, pp. 86-92.
- [62] C. A. Frangopoulos, Intelligent Functional Approach: A Method for Analysis and Optimal Synthesis-Design-Operation of Complex Systems. Proceedings of the International Symposium: A future for energy. Florence, Italy. Pergamon Press, 1990, pp. 805-815.
- [63] G. Tsatsaronis, Invited Papers of Exergoeconomics. Energy Vol. 19, 1994, pp. 279.
- [64] A. Valero, L. Serra, C. Torres, A General Theory of Thermoconomics: Part I: Structural Analysis. International Symposium ECOS'92. Zaragoza, Spain. ASME Book I00331, 1992, pp. 137-145.
- [65] A. Valero, L. Serra, M. A. Lozano, Structural Theory of Thermoconomics, International Symposium on Thermodynamics and the Design, Analysis and Improvement of Energy Systems. Richter H. J. eds. ASME Book no. H00874. New Orleans, USA. 1993, pp. 189-198.
- [66] B. Erlach, Comparison of Thermo-economic Methodologies: Structural Theory, AVCO and LIFO. Application to a Combined Cycle, ECOS'98, Efficiency, cost, optimization, simulation and environmental aspects of energy systems and processes, July 8-10 of 1998, Nancy, France, pp. Vol. I, 229-312.
- [67] B. Erlach, L. Serra, A. Valero, Structural Theory as Standard for Thermoconomics. Energy Conversion and Management 40, 1999, pp. 1627-1649.
- [68] S. Reese Hedberg, Green engineering: AI pioneers cutting a trail, Executive insight, IEEE Expert, Junio 1996, p. 3.
- [69] S. Rosiek, F. J. Battles, Integration of the solar thermal energy in the construction: Analysis of the solar-assisted air-conditioning system installed in CIESOL building, ELSEVIER, Renewable energy, 2009, p.9.
- [70] Li, Danny H.W. Lam, Tony N.T. Chan, Wilco W.H. Mak, Ada H.L. Energy and cost analysis of semi-transparent photovoltaic in office buildings. ELSEVIER. Applied Energy. 2009. 8p.
- [71] D. Castro, J. Sefair, L. Florez, A. Medaglia, Optimization model for the selection of materials using a LEED-based green building rating system in Colombia, ELSEVIER, Building and Environment. 2009. p. 9.
- [72] R. Pulselli, E. Simoncini, N. Marchettini, Energy and energy based cost-benefit evaluation of building envelopes relative to geographical location and climate, ELSEVIER. Building and Environment, 2009, p. 9.
- [73] T. Hong, A close look at the China Design Standard for Energy Efficiency of Public Buildings, ELSEVIER, Energy and Building, 2009, p. 10.
- [74] Y. Abeyesundara, S. Babel, S. Gheewala, A matrix in life cycle perspective for selecting sustainable materials for buildings in Sri Lanka, ELSEVIER. Building and Environment, 2009, p. 8.
- [75] T. Malmqvist, M. Glaumann, Environmental efficiency in residential buildings - A simplified communication approach, ELSEVIER, Building and Environment, 2009, p. 11.
- [76] A. Tramba, B. Yamokoshi, S. Foster, K. Gambill, EcoMOD monitoring system: measuring green building performance, IEEE, Proceedings of the 2006 Systems and Information Engineering Design Symposium, 2006, p. 5.
- [77] Y. Nitta, H. Yamagishi, T. Nomura, K. Minabuchi, M. Kondo, M. Hatta, Y. Tawada, New photovoltaic system exploited by unique characteristics in thin film Si modules, IEEE, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Japan, 2003, p. 5.

- [78] What are the environmental benefits of green buildings? Available: <http://www.worldGBC.org> [citado 30 de abril de 2009].
- [79] BOLETIN Junio 2009. Disponible en: <http://www.cccs.org.co> [citado 30 de abril de 2009].
- [80] Edificación Sustentable en América Del Norte. Disponible en: <http://www.cec.org/greenbuilding> [citado 25 de abril de 2009].
- [81] H. Ali, F. Saba, Al Nsairat, Developing a green building assessment tool for developing countries – Case of Jordan, ELSEVIER, Building and Environment, 2009, p. 12.
- [82] J. T. San-Jose, R. Losada, J. Cuadrado, I. Garrucho, Approach to the quantification of the sustainable value in industrial buildings, ELSEVIER, Building and Environment, 2008, p. 8
- [83] Q. Ding, Q. Tong, H. Tong, Evaluation of index for green zoology building and its definite algorithm in path analysis, IEEE, 4th International Conference on Natural Computation, 2008, p. 5.
- [84] C. Langston, F. Wong, E. Hui, L. Y. Shen, Strategic assessment of building adaptive reuse opportunities in Hong Kong, ELSEVIER, Building and Environment, 2008, p. 10.
- [85] Hamilton, Ian G. Davies, Michael. Steadman, Philip. Stone, Andrew. Ridley, Ian. Evans, Stephen. The significance of the anthropogenic heat emissions of London's buildings: A comparison against captured shortwave solar radiation. ELSEVIER. Building and Environment. 2008. 11p.
- [86] Green Building. Disponible en: <http://www.wikipedia.com> [citado 30 de abril de 2009].
- [87] Comisión para la Cooperación Ambiental. Edificación sustentable en América del Norte, Estados Unidos, 2008, p. 80. Disponible en: <http://www.cec.org>.
- [88] G. Martin, Renewable energy Gets the “green” light in Chicago, IEEE power & energy magazine, 2003. p. 6.
- [89] N. W. Alnaser, R. Flanagan, The need of sustainable buildings construction in the Kingdom of Bahrain, ELSEVIER, Building and Environment, 2007, p. 12.
- [90] The Building-Sustainable Design. Available: <http://www.calacademy.org/> [citado 25 de abril de 2009].
- [91] R. Fayaz, B. Kari, Comparison of energy conservation building codes of Iran, Turkey, Germany, China, ISO 9164 and EN 832, ELSEVIER, Applied Energy, 2009, p. 7.
- [92] Departamento de Construcción Arquitectónica de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Manual ICARO, Guía de Aplicación, España, 2006.
- [93] W. Jianqiang, L. Jingxin, Design and experience of grid-connecting photovoltaic power system, IEEE, ICSET, 2008, p. 4.
- [94] T. N. Anderson, M. Duke, G. L. Morrison J. K. Carson, Performance of a building integrated photovoltaic / thermal (BIPVT) solar collector. ELSEVIER, Solar energy, 2009, p. 11.
- [95] A. Evans, V. Strezov, T. Evans, Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies, ELSEVIER, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009, p. 7.
- [96] Departamento de Construcción Arquitectónica de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Manual ICARO, Manual de Iluminación, España. 2006.
- [97] Awad Momani, Mohammad. Yatim, Baharudin. The impact of the daylight saving time on electricity consumption—A case study from Jordan, ELSEVIER, Energy Policy, 2009, p. 10.
- [98] C. Kandilli, K. Ulgen, A. Hepbasli, Exergetic assessment of transmission concentrated solar energy systems via optical fibres for building applications, ELSEVIER, Energy and Building, 2008, p. 8.
- [99] F. Li, K. Wichmann, R. Otterpohl, Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses, ELSEVIER, Science of Total Environment, 2009, p. 11.
- [100] H. Takebayashi, M. Moriyama, Surface heat

budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island, ELSEVIER, Building and Environment, 2007, p. 9.

- [101] D. J. Sailor, A green roof model for building energy simulation programs, ELSEVIER, Energy and Building, 2008, p. 13.
- [102] L. Kosareo, R. Ries, Comparative environmental life cycle assessment of green roofs, ELSEVIER, Building and Environment, 2007, p. 8.
- [103] P. Jones, E. Alexandria, Developing a one-dimensional heat and mass transfer algorithm for describing the effect of green roofs on the built environment: Comparison with experimental results, ELSEVIER, Building and Environment, 2007, p. 15.
- [104] T. V. Renterghem, D. Botteldooren, Reducing the acoustical façade load from road traffic with green roofs, ELSEVIER, Building and Environment, 2009, p. 7.
- [105] E. Alexandri, P. Jones, Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates, ELSEVIER, Building and Environment, 2008, p. 14.
- [106] G. M. Stavrakakis, M. K. Koukou, M.Gr. Vrachopoulos, N. C. Markatos, Natural cross-ventilation in buildings: Building-scale experiments, numerical simulation and thermal comfort evaluation, ELSEVIER, Energy and Buildings, 2008, p. 16.
- [107] K. J. Lomas, Architectural design of an advanced naturally ventilated building form, ELSEVIER, Energy and Building, 2007, p. 16.
- [108] Y. Ji, K. J. Lomas, M. J. Cook, Hybrid ventilation for low energy building design in south China, ELSEVIER, Building and Environment, 2009, p. 11.
- [109] A. Leama, B. Bordass, Are users more tolerant of green buildings?, Building Research & Information, 2007, p. 13.
- [110] K. H. Yang, R. L. Hwang, An improved assessment model of variable frequency-driven direct expansion air-conditioning system in

commercial buildings for Taiwan green building rating system, ELSEVIER, Building and Environment, 2007, p. 7.

17. CURRÍCULUM

Germán Alfonso Osma Pinto. Nació en Bucaramanga, Colombia. Recibió los títulos de Ingeniero Electricista e Ingeniero Industrial de la Universidad Industrial de Santander (UIS), Bucaramanga, Colombia, en el 2007. Actualmente, es candidato de maestría de ingeniería eléctrica de la misma universidad. Ha sido miembro del Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica – GISEL desde el año 2006. Áreas de interés: Desarrollo sostenible, edificios verdes, uso racional y eficiente de la energía, exergía, termoeconomía y análisis de sistemas productivos.

Gabriel Ordóñez Plata. Ingeniero Electricista UIS 1985, Distinción Cum Laude; Especialista Universitario en Técnicas de Investigación Tecnológica UPCO 1993, Doctor Ingeniero Industrial UPCO 1993, Madrid (España) 1993. Profesor Titular de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander (UIS). Investigador del Grupo GISEL. Senior Member IEEE. Áreas de trabajo: Tratamiento de señales, mediciones eléctricas, calidad del servicio, gestión tecnológica y formación basada en competencias.