



## 24. Medio Ambiente

### **Determinación de las variables de análisis que permitan evaluar el nivel de sustentabilidad en espacios exteriores**

García Santa Cruz, Mauro Gabriel <sup>1</sup>

mggarciasc@gmail.com

Facultad de Bellas Artes, Universidad Nacional de La Plata (FBA UNLP)

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

---

#### **Resumen**

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se han incrementado desde la era preindustrial, con un aumento de un 70% entre 1970 y 2004. Las opciones de eficiencia energética para los edificios nuevos y los existentes podrían reducir considerablemente las emisiones de CO<sub>2</sub>. En la década de 1990 surgen los primeros métodos de evaluación de edificios sustentables. Si bien originalmente se centraron en la variable ambiental, luego adoptaron criterios que incluyen también las variables económica y social. En la actualidad no existe consenso internacional en la composición y estructura de las herramientas para evaluación de sustentabilidad.

En el presente trabajo se clasifican los sistemas y se reconocen siete categorías de evaluación: sitio, energía, agua, materiales, calidad del aire interior, prácticas de operación y mantenimiento. Se realiza una comparación de los métodos de evaluación propuestos por BREEAM, LEED, CASBEE y VERDE basada en tres niveles: comparación general, comparación de categorías y comparación de criterios. Luego de analizar los distintos sistemas de evaluación se obtiene que CASBEE asigna el 41.5%, BREEAM determina el 18,56%, VERDE asigna el 12.83% y LEED el 11% de su puntuación a los criterios relacionados con los espacios exteriores.

**Palabras clave:** sistemas de evaluación, edificios sustentables, espacios exteriores.

---

<sup>1</sup> Arquitecto UNLP, alumno del Doctorado en Arquitectura y Urbanismo FAU UNLP, Becario Doctoral CONICET con sede en la Facultad de Bellas Artes UNLP, Argentina. Miembro del International Council of Museums (ICOM), International Council on Monuments and Sites (ICOMOS), International Building Performance Simulation Association (IBPSA), Centro Internacional para la Conservación del Patrimonio (CICOP)



## **Introducción**

Los sistemas de evaluación de edificios han experimentado un rápido incremento durante las pasadas dos décadas, desde el nacimiento del BREEAM en Reino Unido en 1992 hasta el rápido crecimiento experimentado por el LEED, que ha sobrepasado las barreras nacionales de EEUU para convertirse en uno de los principales sistemas de evaluación a nivel mundial. (IHOBE, 2010:11).

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se han incrementado desde la era preindustrial, con un aumento de un 70% entre 1970 y 2004. A pesar de las políticas actuales de mitigación del cambio climático y las prácticas relacionadas de desarrollo sostenible, las emisiones mundiales de GEI continuarán en aumento en las próximas décadas. Las opciones de eficiencia energética para los edificios nuevos y los existentes podrían reducir considerablemente las emisiones de CO<sub>2</sub> y aportar un beneficio económico neto. En el año 2030 aproximadamente el 30% de las emisiones de GEI proyectadas en el sector de la construcción pueden ser evitadas con beneficios económicos netos. En el sector de la construcción existen políticas, medidas e instrumentos sectoriales de demostrada efectividad ambiental, como las normas de electrodomésticos y etiquetado, los códigos

de construcción y certificación, los programas de liderazgo del sector público (IPCC, 2007).

Un sistema de evaluación de la sostenibilidad en edificaciones es un conjunto de métodos y protocolos utilizados para valorar el comportamiento ambiental de un edificio, generalmente se basa en el análisis de ciclo de vida. Originalmente estos sistemas se centraron en la variable ambiental, aunque luego la mayor parte de ellos adoptaron también criterios que incluyen las variables económica y social (IHOBE, 2010).

Según Thilo Ebert et al. (2011) en la actualidad no existe consenso internacional en la composición y estructura de las herramientas para evaluación de sustentabilidad, cada sistema se basa en su propia estructura de análisis. No existe un sistema que pueda ser considerado como el mejor, ya que la comparación directa entre los distintos métodos no es posible, cada uno de ellos ha sido desarrollado para responder las necesidades climáticas, culturales y políticas de un país determinado.

## **Objetivos**

El objetivo de este trabajo es realizar una comparación de los métodos de evaluación de sustentabilidad en edificios basada en tres niveles: comparación general, comparación de categorías y comparación de criterios. Para el



análisis se seleccionan las categorías relacionadas con los espacios exteriores.

## **Materiales y Métodos**

Entre los métodos de evaluación de edificios sustentables existentes, el *Building Research Establishment's Environmental Assessment Method* (BREEAM) desarrollado en el Reino Unido en 1990, es el primer método de evaluación. *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), desarrollado en los Estados Unidos en 1998, creció rápido y es casi el sistema dominante de evaluación de edificios alrededor del mundo. LEED se ha implementado en 41 países, incluyendo Canadá, Brasil, México, Chile, Argentina, India y China. Otras herramientas de evaluación conocidas incluyen *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency* (CASBEE) de Japón, *Green Star* de Australia, *Building Environmental Assessment Method Plus* (BEAM Plus, anteriormente denominado HK-BEAM) de Hong Kong, *Green Mark* de Singapur, *EcoProfile* de Noruega, *Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen* (DGNB) de Alemania, *Evaluation Standard for Green Building* (ESGB) o *Green Building Label* (GBL) de China, y la herramienta Internacional *Sustainable Building Tool* (SB Tool, antes conocido como GB Tool) (Li et al., 2017). Según Ebert et al. (2011) el contenido

principal de un standard es la descripción de los principios básicos así como de los métodos de cálculo y evaluación. El objetivo es determinar indicadores cuantificables, un modelo de análisis de ciclo de vida (diseño, producción, construcción, operación y mantenimiento, fin de vida útil) y un enfoque orientado al desempeño.

En una investigación realizada por Mehrbakhsh Nilashi et al. (2015) se comparan los principales sistemas de evaluación de edificios sustentables. En primer lugar clasifican los sistemas y reconocen siete categorías de evaluación: sitio, energía, agua, materiales, calidad del aire interior, prácticas de operación y mantenimiento, otras estrategias. Como puede apreciarse en la Tabla 1 cada sistema de evaluación asigna un porcentaje distinto a cada categoría, realizando de esta forma una valoración diferenciada de la incidencia de ese conjunto de variables en la evaluación final.

En los últimos años los organismos de certificación, instituciones de investigación y el sector de la construcción desarrollaron numerosos estudios con la intención de hacer comparables los resultados de las distintas herramientas y para permitir que las etiquetas de sustentabilidad existentes puedan ser utilizadas en otros países. De esta forma, se basaron en la experiencia generada



por las herramientas disponibles al desarrollar nuevos sistemas específicos para un país determinado. En este sentido CASBEE, desarrollado para Japón, basa su sistema en LEED y Green Star, desarrollado para Australia, se basa en BREEM. En el caso de la certificación DGNB, desarrollada en Alemania,

se basa en el know-how de los sistemas internacionales ya establecidos. Sin embargo también incorpora nuevas características en el esquema de evaluación del edificio porque considera aspectos económicos, sociales, técnicos y de procesos específicos (Ebert et al., 2011).

Sistema	Categoría						
	Sitio	Energía	Agua	Materiales	Calidad aire interior	Operación y mantenimiento	Otros
BREEAM	15 %	25 %	5 %	10 %	15 %	15 %	15 %
CASBEE	15 %	20 %	2 %	13 %	20 %	15 %	15 %
Green Globes	11.5 %	36 %	10 %	10 %	20 %	-	12.5 %
LEED	20 %	25 %	7 %	19 %	22 %	-	7 %

**Tabla 1.** Comparación de los sistemas de evaluación (Mehrakhsh Nilashi et al., 2015)

Yuanyuan Li et al. (2017) realizan una investigación a partir de la revisión sistemática de la literatura a fin de identificar el desarrollo de métodos de evaluación de edificios sustentables, con especial énfasis en los estudios con análisis comparativos. La investigación presenta un histograma que relaciona año con número de papers para el período 2004-2016 con el objetivo de mostrar la tendencia de popularidad del tema de investigación de los métodos de evaluación de edificios sustentables. Durante 2004-2010 se publican pocos documentos, lo que indica que los investigadores prestaron menos atención

a los métodos de evaluación durante este período. A partir de 2011 el número de trabajos publicados por año muestra una tendencia creciente en general, lo que indica un creciente interés por este tema de investigación. Esto está en consonancia con la popularidad de la investigación sobre edificios sustentables en los últimos años. Los artículos seleccionados de 2004 a 2016 se publicaron en 28 revistas académicas reconocidas, entre las que publicaron el mayor número de artículos seleccionados se incluyen Energy and Buildings (EB), Building and Environment (BE), Environmental Impact



Assessment Review (EIA), Renewable and Sustainable Energy Reviews (RSER), Building Research & Information (BRI) y Sustainable Cities and Society (SCS).

### Resultados

Siguiendo el procedimiento propuesto por Yuanyuan Li et al. (2017) se realiza una comparación de los métodos de evaluación basada en tres niveles: comparación general, comparación de categorías, comparación de criterios. En la Tabla 2 se organizan los temas de análisis a partir de distintas categorías teniendo en cuenta los factores sociales, económicos y ambientales. En la misma se presentan los temas abordados por BREEAM, LEED, CASBEE, Green Globes, Green Star, HQE y VERDE relacionados con la evaluación de

espacios exteriores. Los temas presentes en todos los sistemas de evaluación son: monitorización de la energía, uso de energía procedente de fuentes no renovables, agotamiento y uso de fuentes de energía renovables y no renovables, origen responsable de elementos de la edificación y materiales de mantenimiento, consumo de recursos de agua potable. Los temas presentes en al menos seis de los siete sistemas analizados son: provisión de bicisendas y de instalaciones para ciclistas, mitigación del impacto sobre una zona de valor ecológico, uso de energía procedente de fuentes renovables, minimización de riesgos climáticos específicos locales, tratamiento de residuos no peligrosos.

Categoría	Tema	Subtema	BREEAM	LEED	CASBEE	Green Globes	Green Star	HQE	VERDE
SOCIAL	Accesibilidad	Red de bicisenda accesible	X	X		X	X	X	X
		Red de caminos peatonales accesible	X					X	X
	Bienestar de las personas	Acceso a espacios	X	X				X	
		Valores sociales y culturales	Estética del edificio y contexto			X			X



ECONÓMICO	Efectos colaterales, externalidades	Valor de la imagen	Marcas, expresión exterior, innovación, generar identidad							
	Valor del ciclo de vida	Valor patrimonial	Valor de uso añadido							
			Adaptación del edificio al cambio					X	X	X
AMBIENTAL	Biodiversidad	Mejora del ecosistema local	Mejora en las especies autóctonas		X	X	X	X	X	
			Mantenimiento y acción sobre el hábitat		X	X	X	X		
		Eutrofización		Minimizar puntos que sean fuente de eutrofización		X	X	X	X	
		Mitigación del impacto sobre el ecosistema local		Considera que sean tierras de bajo valor ecológico		X	X	X	X	
			Mitigación del impacto sobre una zona de valor ecológico		X	X	X	X		
	Cambio climático	Emisión de gases de efecto invernadero	Monitorización de la energía		X	X	X	X	X	
			Uso de energía procedente de fuentes no renovables		X	X	X	X		
			Uso de energía procedente de fuentes renovables		X	X	X	X		
	Riesgo climático y en la gestión ambiental	Riesgo climático	Minimización de riesgos climáticos específicos locales		X	X	X	X		
			Gestión ambiental		Políticas ambientales y sistemas de gestión ambiental		X	X	X	
Uso / consumo del suelo		Remediación y reutilización del suelo contaminado		X		X	X			
		Huella del desarrollo		X		X	X			
	Re-utilización de suelos anteriormente antropizados		X		X	X				
Consumo de recursos	Consumo de materiales	Agotamiento y uso de fuentes de energía renovables y no renovables		X	X	X	X			
		Origen responsable de elementos de la edificación y materiales de mantenimiento		X	X	X	X			
	Prevención de la generación de residuos		Tratamiento de residuos no peligrosos		X	X	X			
	Consumo de agua	Monitorización del consumo de agua		X		X	X			
Consumo de recursos de agua potable		X		X	X					

**Tabla 2.** Comparación entre sistemas de evaluación considerando factores sociales, ambientales y económicos (IHOBE, 2010; GBCe, 2015)



Si se tiene en cuenta que cada sistema de evaluación realiza una valoración diferenciada de la incidencia del conjunto de variables en la evaluación final, resulta importante determinar cuál es el porcentaje de participación de esos criterios. En las Tablas 3 a 6 se enumeran los criterios adoptados por los distintos sistemas de

evaluación relacionados con los espacios exteriores. Si sumamos los porcentajes acumulados por los criterios obtenemos que CASBEE asigna el 41.5%, BREEAM determina el 18,56%, VERDE asigna el 12.83% y por último LEED el 11% a los criterios relacionados con los espacios exteriores.

Sección BREEAM	Ponderación	Criterio	Crédito Máx.	Porcentaje
Salud y Bienestar	15.0 %	Niveles de iluminación interna y externa	1	1.07 %
Energía	19.0 %	Iluminación exterior	1	0.79 %
Transporte	8.0 %	Seguridad para peatones y ciclistas	1	0.89 %
		Capacidad máxima de estacionamiento	2	1.78 %
Agua	6.0 %	Sistemas de riego	1	0.67 %
		Tratamiento sustentable de agua in situ	2	1.33 %
Materiales	12.5 %	Paisajismo duro y protección de límites	1	0.96 %
Residuos	7.5 %	Compostaje	1	1.07%
		Reutilización de la tierra	1	1.00 %
		Tierra contaminada	1	1.00 %
		Valor ecológico del sitio y protección de las características ecológicas	1	1.00 %
		Mitigación del impacto ecológico	5	5.00 %
Uso del suelo y Ecología	10.0 %	Impacto sobre biodiversidad a largo plazo	2	2.00 %

**Tabla 3.** Criterios asignados por BREEAM relacionados con espacios exteriores (Ebert et al., 2011)

Categoría LEED	Puntos x Cat.	Créditos	Puntos Crédito	Porcentaje
Sitios Sustentables	26	Reurbanización zonas industriales degradadas	1	1.1%
		Desarrollo Sitio: Proteger/Restaurar el Hábitat	1	1.1%
		Desarrollo Sitio: Maximizar el Espacio Abierto	1	1.1%
		Efecto de la isla de calor - Sin techo	1	1.1%
		Efecto de la isla de calor - Con techo	1	1.1%
		Reducción de la contaminación lumínica	1	1.1%



Eficiencia del agua	10	Paisajismo: reducción del consumo de agua potable en un 50%	2	2.2%
		Paisajismo: no utilización de agua potable	2	2.2%

**Tabla 4.** Criterios asignados por LEED relacionados con espacios exteriores (Ebert et al., 2011)

Criterio principal	%	Categoría	%	Criterio	%
Recursos y materiales	30.0%	Recursos hídricos	15.0%	Ahorro de agua	1.8%
				Agua de lluvia y grises	2.7%
Entorno del sitio	30.0%	Ambiente	33.3%	Efecto isla de calor	5%
		Ambiente circundante	33.3%	Contaminación lumínica	2%
Ambiente exterior del sitio	30.0%	Preservación y Creación del Biotopo	30.0%		9%
				Paisaje urbano y paisaje natural	40.0%
		Características locales y servicios al aire libre	30.0%	Atención al carácter local y mejora de confort	4.5%
				Mejora del microclima alrededor del edificio	4.5%

**Tabla 5.** Criterios asignados por CASBEE relacionados con espacios exteriores (Ebert et al., 2011)

Categoría VERDE	% Categoría	Medida	% Medida
Parcela y emplazamiento	11.30%	Sistema de gestión de escorrentías	0.87%
		Efecto isla de calor a nivel del suelo	1.22%
		Efecto isla de calor a la altura de la cubierta	1.22%
		Contaminación lumínica	1.83%
Recursos naturales	32.80%	Consumo de agua potable para riego	1%
		Retención de agua de lluvia para reutilización	2.39%
		Recuperación y reutilización de aguas grises	3.35%
Aspectos sociales y económicos	1.98%	Acceso universal	0.95%

**Tabla 6.** Criterios asignados por VERDE relacionados con espacios exteriores (GBCe., 2015)

## Discusión

Cada uno de los sistemas de evaluación ha sido desarrollado para responder a las necesidades climáticas, culturales y políticas de un país determinado. Por estos motivos

asignan un porcentaje distinto a cada categoría analizada, realizando de esta forma una valoración diferenciada de la incidencia de ese conjunto de variables en la evaluación final. Sin embargo en los últimos años se han



desarrollado estudios con la intención de hacer comparables los resultados de los distintos sistemas, a fin de que las etiquetas de sustentabilidad existentes puedan ser utilizadas en otros países. Desde el año 2011 se registra un creciente interés por las investigaciones que incluyen análisis comparativo de los sistemas de evaluación de edificios sustentables.

Xiaosen Huo et al. (2017) explican que si bien se han llevado a cabo investigaciones sobre las herramientas de evaluación de edificios sustentables para demostrar sus efectos positivos en la mejora de la calidad del aire en interiores, la gestión de los residuos de construcción y la aplicación de diseño pasivo, no se habían identificado análisis comparativos de los ítems relacionados con la planificación y diseño del sitio. Por este motivo desarrollan una investigación sobre cinco herramientas de evaluación de edificios sustentables con el fin de obtener una mejor comprensión del impacto que poseen la planificación y diseño del sitio en los edificios sustentables. Se analizan y comparan los sistemas Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM), Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), Building Environmental Assessment Method (BEAM) Plus, Green Mark (GM) y Assessment

Standard for Green Building (ASGB). Se seleccionan y ponderan quince variables: uso de la tierra, evaluación del sitio, diseño de edificios pasivos, espacio abierto, equipamiento comunitario, transporte local, estacionamiento de vehículos verdes, superficie de estacionamiento reducida, valor ecológico y protección, patrimonio cultural, paisajismo y riego, microclima alrededor de edificios, plan de gestión ambiental. La investigación concluye que BEAM Plus asigna los pesos más altos a la planificación y diseño del sitio con un 25%. LEED y ASGB asignan el 23,4% y 23% de las ponderaciones a estos aspectos respectivamente, seguido de BREEAM, que asigna el 13,3%. GM le asigna aproximadamente el 7,44% de los créditos, siendo el peso más bajo.

Las oportunidades de investigación para el futuro se resumen a través del análisis comparativo de estudios según los siguientes criterios: estudios sobre comparación detallada; estudios desde la perspectiva de los aspectos relacionados con la gestión; ampliar el análisis para abarcar todos los tipos de edificios; optimización de procesos, procedimientos y desempeño de los métodos de evaluación de edificios sustentables; y justificación científica para desarrollar y actualizar métodos de evaluación (Li et al., 2017).



## Conclusiones

El objetivo de este trabajo es realizar una comparación de los métodos de evaluación de sustentabilidad en edificios basada en tres niveles: comparación general, comparación de categorías y comparación de criterios. Esta investigación ha permitido determinar que los temas presentes en todos los sistemas de evaluación son: monitorización de la energía, uso de energía procedente de fuentes no renovables, agotamiento y uso de fuentes de energía renovables y no renovables, origen responsable de elementos de la edificación y materiales de mantenimiento, consumo de recursos de agua potable. Cada sistema de evaluación realiza una valoración diferenciada de la incidencia del conjunto de variables en la evaluación final, sin embargo se pueden sumar los porcentajes acumulados por los criterios utilizados en la evaluación de espacios exteriores. De esta sumatoria se obtiene que CASBEE asigna el 41.5%, BREEAM determina el 18,56%, VERDE asigno el 12.83% y por último LEED el 11%. En el futuro se pretende continuar la investigación y realizar la comparación de los indicadores que conforman estos sistemas de evaluación, profundizando en aquellos relacionados con los espacios exteriores.

## Agradecimientos

A los profesores y alumnos del curso de posgrado *Gestión del proyecto y la infraestructura sustentable en instituciones de la educación superior*, realizado en el marco de la Escuela de Verano UNLP durante Febrero de 2017.

## Financiamiento

Este trabajo se realiza en el marco de una investigación doctoral con financiamiento del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) a través de una Beca Doctoral bajo la dirección del Lic. Walter Patricio Di Santo (FBA UNLP | UNDAV) y del Arq. Alfredo Luis Conti (LINTA CIC | FCE UNLP).

## Bibliografía

- IHOBE (2010). *Green Building Rating Systems: ¿Cómo evaluar la sostenibilidad en la edificación?* Bilbao: IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental.
- Ebert, Thilo; Essig, Natalie; Hauser, Gerd (2011). *Green building certification systems. Assessing sustainability, International system comparison, Economic impact of certifications.* München: Institut für internationale.



GBCe (2015). *VERDE NE Equipamiento, Guía para el evaluador acreditado*. Madrid: Green Building Council España.

IPCC (2007). *Cambio Climático 2007: Mitigación. Contribución del Grupo de Trabajo III al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático* [B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds)] Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, USA.

Huo, Xiaosen; Yu, Ann T.W.; Wu, Zezhou (2017). *A comparative analysis of site planning and design among green building rating tools*. En *Journal of Cleaner Production* 147 (2017) 352-359.

Li, Yuanyuan; Chen, Xiaochen; Wang, Xiaoyu; Xu, Youquan; Chen, Po-Han (2017). *A review of studies on green building assessment methods by comparative analysis*. En *Energy and Buildings* 146 (2017) 152-159.

Mehrbakhsh Nilashi, Rozana Zakaria, Othman Ibrahim, Muhd Zaimi Abd. Majid, Rosli Mohamad Zin, Muhammad Waseem Chughtai, Nur Izieadiana Zainal Abidin, Shaza Rina Sahamir, Dodo Aminu Yakubu (2015). *A knowledge-based expert system for assessing the performance level of green buildings*. En *Knowledge-Based Systems* 86 (2015) 194-209