

ASSESSMENT OF SUSTAINABILITY IN BUILDINGS: REVIEW OF TOOLS AND APPLICATION CASE STUDY

Agustí Juan, I.; Bovea Edo, M. D.; Ibáñez-Forés, V.; Gallardo Izquierdo, A.

Universitat Jaume I

Buildings generate a significant impact on the environment throughout their whole life cycle. During the last 30-40 years has increased the awareness of the countries to reduce or eliminate this impact, which has led to regulations with the aim to promote a sustainable construction. This has led to the development of tools for assessing and certificating the sustainability of buildings.

This communication aims to compare and evaluate the results obtained by applying different systems of sustainability assessment to a building that complies with the Spanish Technical Building Code. To do that, the study starts with the design of a typical Spanish family household and the subsequent data collection related to the operation phase, by means of questionnaires. Using the average data obtained, the house is assessed using different energy assessment tools, environmental assessment tools and sustainability certification systems. Finally, a comparative analysis of the obtained results is carried out in order to find out the degree of adequacy of these systems to the sustainability assessment of buildings.

Keywords: *Building; Sustainability assessment tool; Case study*

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN LA EDIFICACIÓN: REVISIÓN DE HERRAMIENTAS Y APLICACIÓN A CASO DE ESTUDIO

Las edificaciones generan impactos significativos sobre el medioambiente durante todo su ciclo de vida. Durante los últimos 30-40 años ha crecido la concienciación por reducir o eliminar estos impactos, lo que ha dado lugar a normativas que pretenden promover la construcción sostenible. Esto ha provocado el desarrollo de herramientas de evaluación y certificación de la sostenibilidad de los edificios.

La presente comunicación tiene como objetivo comparar y valorar los resultados obtenidos al aplicar diferentes sistemas de evaluación de la sostenibilidad a una misma edificación que cumple la normativa del Código Técnico de la Edificación. Para ello, el estudio parte del diseño de una vivienda unifamiliar tipo española y de la posterior recogida de datos de la fase de uso a partir de una encuesta propia. Utilizando los datos medios obtenidos, se evalúa la vivienda mediante diferentes herramientas de evaluación energética, de evaluación ambiental y sistemas de certificación de la sostenibilidad. Finalmente, se realiza un análisis comparativo de los resultados obtenidos con el fin de discernir el grado de adecuación de estos sistemas para la evaluación de la sostenibilidad de la edificación.

Palabras clave: *Edificación; Herramientas de certificación de la sostenibilidad; Caso de estudio*

Correspondencia: M^a Dolores Bovea Edo. Dpto. Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I. C.P. 12071. Castellón, España.

1. Introducción

En la última década se ha producido una creciente preocupación por la necesidad de evaluar el comportamiento ambiental y energético de la edificación. Para ello, se han desarrollado una serie de herramientas que permiten evaluar diferentes aspectos de la sostenibilidad de un edificio. Éstas pueden clasificarse según muestra la Figura 1.

Figura 1. Clasificación de los sistemas de evaluación de la sostenibilidad en la edificación



Dentro de cada uno de estos tres grupos se han desarrollado a nivel internacional diferentes herramientas que se detallan en la Tabla 1, clasificadas en función del indicador de sostenibilidad (ambiental, energético, económico o social) que permiten analizar.

Tabla 1. Clasificación de sistemas de evaluación de la sostenibilidad en la edificación según los criterios o indicadores que permiten analizar

	HERRAMIENTA		CRITERIOS O INDICADORES*			
	NOMBRE	ENLACE PAGINA WEB REFERENCIA	AMB	ENER	ECO	SOC
ETIQUETA	R-2000 Certificate	http://oeenrcan.gc.ca/residential/new-homes/r-2000/	X	X		
	Passivhaus	http://www.plataforma-pep.org/		X		
	BBC Effinergie	http://www.effinergie.org/index.php/les-labels-effinergie/bbc-effinergie		X		
	Low Energy buildings	http://retrofitforthefuture.org/		X		
	Zero Carbon buildings	http://www.zerocarbonbritain.com/	X	X		
HERRAMIENTAS DE	Energy Plus	http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/		X		
	TRNSYS	http://sel.me.wisc.edu/trnsys/		X		
	Design Builder	http://www.designbuilder.co.uk/		X		
	Ecotect	http://usa.autodesk.com/ecotect-analysis/		X		
	Calener	http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/eficienciaenergetica/certificacionenergetica/programacalener/		X		
	ATHENA	http://www.athenasmi.org/	X	X		
	BEES	http://www.bfrl.nist.gov/oae/software/bees/	X			
	Envest2	http://envest2.bre.co.uk/	X			
	Eco-Quantum	http://www.ivam.uva.nl/	X	X		
	LISA	http://www.lisa.au.com	X	X		
SISTEMAS DE	EcoEffect	http://www.ecoeffect.se/	X			
	Elodie	http://www.elodie-cstb.fr	X	X		
	BREEAM	http://www.breeam.org/index.jsp	X	X		X
	LEED	https://new.usgbc.org/leed	X	X		X
	CASBEE	http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/index.htm	X	X		X
	GREEN GLOBES	http://www.greenglobes.com	X	X		X
	GREEN STAR	http://www.gbca.org.au/green-star/green-star-overview/	X	X		X
	ITACA	http://www.iisbeitalia.org/sbmethod/protocollo-itaca	X	X		
	HQE	http://assohqe.org/hqe	X		X	X
	DGNB	http://www.dgnb.de/	X		X	X
	NAHB GREEN	http://www.nahbc.com/green	X	X		X
	VERDE	http://www.gbce.es/pagina/certificacion-verde	X	X		X
	Perfil de calidad	http://www.perfildecalidad.es/	X	X		

*AMB: ambientales; ENER: energéticos; ECO: económicos; SOC: sociales

Se observa claramente que los criterios ambientales y energéticos son los que predominan en este tipo de herramientas.

La presente comunicación tiene como objetivo comparar y valorar los resultados obtenidos al aplicar estas herramientas a una misma edificación que cumple la normativa del Código Técnico de la Edificación, CTE (Real Decreto 314, 2006). Para ello, el estudio parte del diseño de una vivienda unifamiliar tipo española y de la posterior recogida de datos de la fase de uso a partir de una encuesta propia.

2. Descripción de la vivienda

La vivienda tipo diseñada para la realización del caso práctico consta de las siguientes características:

- Vivienda unifamiliar adosada de dos plantas y tres dormitorios.
- Ubicación: Playa de Almazora (Castellón). Zona climática B3.
- Superficie útil: 70,9 m² en planta baja y 56,6 m² en la 1^a planta, es decir, 127,5 m² en total.
- Cumplimiento del Código Técnico de la Edificación.

A continuación, la Figura 2 muestra algunos de los planos y las imágenes que se han realizado de la vivienda tipo.

Figura 2. Planos de la vivienda objeto de estudio



El inventario de elementos constructivos y materiales que componen la vivienda se ha realizado con la ayuda del programa LIDER (2007), obteniéndose la información detallada en la Tabla 3.

Tabla 3. Inventario de elementos constructivos y materiales

Nombre	U (W/m²K)	Material	Espesor (m)
Cerramiento fachada	0,43	-Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido de densidad 1000 kg/m³ < d < 1250 kg/m³	0,020
		-Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	0,090
		-EPS Poliestireno Expandido [0,029 W/[mK]]	0,050
		-Cámara de aire ligeramente ventilada vertical 2 cm	0,020
		-Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor < 60 mm]	0,040
		-Enlucido de yeso de densidad 1000 kg/m³ < d < 1300 kg/m³	0,015
Partición interior	2,32	-Enlucido de yeso de densidad 1000 kg/m³ < d < 1300 kg/m³	0,015
		-Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	0,090
		-Enlucido de yeso de densidad 1000 kg/m³ < d < 1300 kg/m³	0,015
Partición con NH	0,63	-Enlucido de yeso de densidad 1000 kg/m³ < d < 1300 kg/m³	0,015
		-Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	0,070
		-EPS Poliestireno Expandido [0,029 W/[mK]]	0,030
		-Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	0,070
Cubierta	0,42	-Enlucido de yeso de densidad 1000 kg/m³ < d < 1300 kg/m³	0,015
		-Plaqueta o baldosa cerámica	0,005
		-Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido de densidad 1000 kg/m³ < d < 1250 kg/m³	0,020
		-EPS Poliestireno Expandido [0,029 W/[mK]]	0,050
		-Betún fieltro o lámina	0,010
		-Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido de densidad 1000 kg/m³ < d < 1250 kg/m³	0,020
Forjado interior	2,02	-Hormigón con áridos ligeros de densidad 1600 kg/m³ < d < 1800 kg/m³	0,100
		-FU Entrevigado de hormigón aligerado - Canto 300 mm	0,300
		-Enlucido de yeso de densidad 1000 kg/m³ < d < 1300 kg/m³	0,015
		-Piedra artificial	0,030
		-Arena y grava [1700 kg/m³ < d < 2200 kg/m³]	0,020
Solera PB	0,43	-FU Entrevigado de hormigón aligerado - Canto 300 mm	0,300
		-Enlucido de yeso de densidad 1000 kg/m³ < d < 1300 kg/m³	0,015
		-Piedra artificial	0,030
		-Arena y grava [1700 kg/m³ < d < 2200 kg/m³]	0,020
Forjado sobre NH	0,46	-EPS Poliestireno Expandido [0,029 W/[mK]]	0,060
		-Hormigón armado de densidad 2300 kg/m³ < d < 2500 kg/m³	0,150
		-Piedra artificial	0,030
		-Arena y grava [1700 kg/m³ < d < 2200 kg/m³]	0,020
Cimentación		-EPS Poliestireno Expandido [0,029 W/[mK]]	0,050
		-FU Entrevigado de hormigón - Canto 300 mm	0,300
		-Enlucido de yeso de densidad 1000 kg/m³ < d < 1300 kg/m³	0,015
Huecos	3,40	-Losa de hormigón armado	0,500
		-Árido reciclado de relleno	0,100
		-Marco de aluminio con rotura de puente térmico entre 4 mm y 12 mm	
		-Acristalamiento 4-6-4 mm	

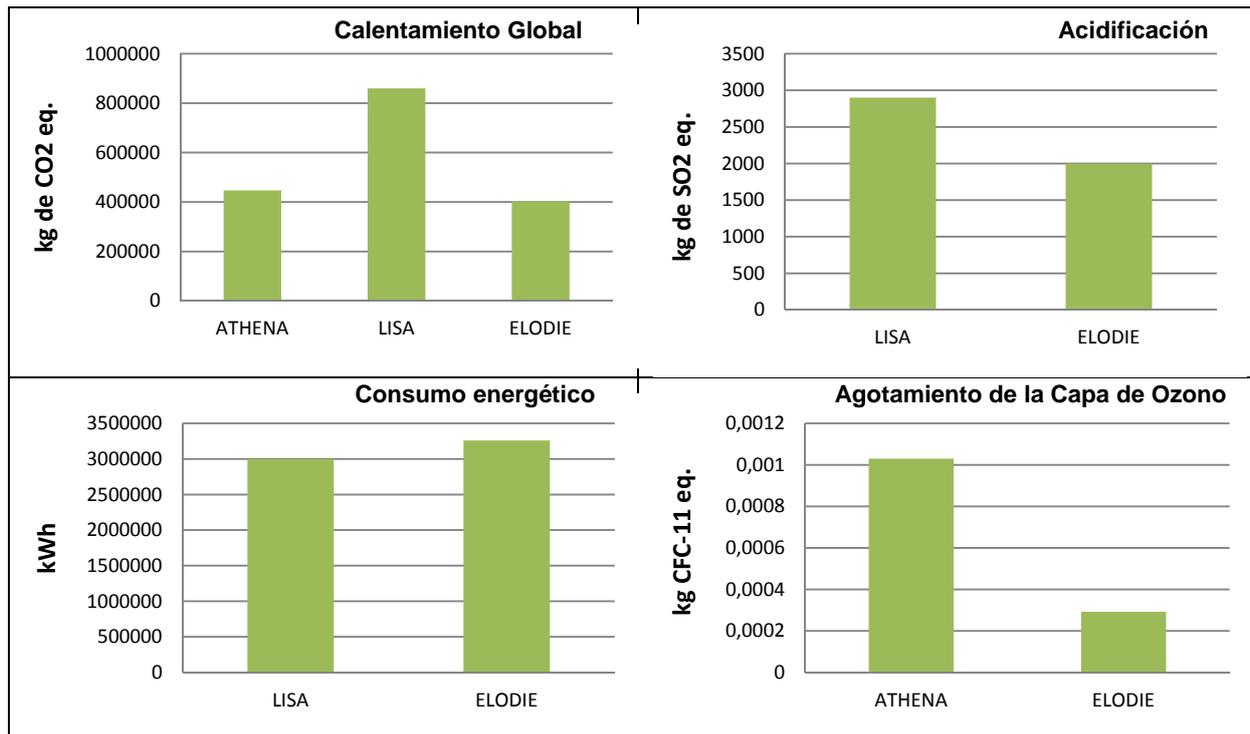
Con el fin de obtener información relativa a la etapa de uso, se ha elaborado una encuesta propia titulada “*Hábitos de consumo en el hogar*”, que incluye cuestiones relativas al consumo real de electricidad, de gas natural, etc., a los equipos más utilizados, a la gestión de residuos, etc. La Tabla 4 muestra los valores medios obtenidos para algunos de los parámetros encuestados, que se utilizarán en las diferentes herramientas analizadas como datos de entrada de la vivienda durante la etapa de uso. Estos parámetros obtenidos se encuentran en la media de los publicados en IDAE (2011).

4. Aplicación de herramientas de evaluación ambiental

De entre las diferentes herramientas de evaluación ambiental de la edificación mostradas en la Tabla 1, se han aplicado ATHENA (2009), BEES 4.0 (2010), LISA (2013) y la versión de evaluación de ELODIE (2013).

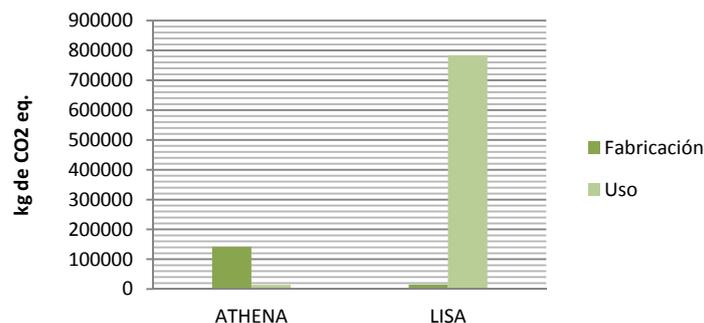
La Figura 4 muestra la comparativa de los indicadores obtenidos para diferentes categorías de impacto. Únicamente se han podido comparar aquellas herramientas que permitían obtener los mismos indicadores para el ciclo de vida del edificio: ATHENA, LISA y ELODIE. Los resultados de BEES no se muestran, ya que únicamente permite analizar materiales de la vivienda individualmente y no del edificio completo.

Figura 4. Comparativa de indicadores obtenidos para diferentes categorías de impacto



Dependiendo de la herramienta aplicada se observan pequeñas variaciones en los resultados obtenidos globalmente para todo el ciclo de vida del edificio. Sin embargo, si se desglosa el valor del indicador para las diferentes etapas del ciclo de vida de un edificio se observa que por ejemplo para la categoría de impacto de calentamiento global (Figura 5), en la herramienta ATHENA la etapa que mayor contribución tiene al impacto ambiental es la de fabricación de los materiales, mientras que en la herramienta LISA la etapa que mayor contribución tiene al impacto ambiental del ciclo de vida de la vivienda es la etapa de uso.

Figura 5. Desglose por etapas, del indicador para la categoría de impacto Calentamiento global



Como conclusión, puede indicarse que existen muchas diferencias entre las herramientas analizadas, tanto en los datos de entrada que utilizan, formatos y unidades, como en la forma de cuantificar los resultados (categorías de impacto, indicadores, etc.) y en los propios resultados obtenidos. De ahí, que antes de elegir una u otra herramienta, sea necesario analizar si se ajusta o no al caso de aplicación y sobre todo, analizar si los datos de inventario que utilizan son aplicables o no a la vivienda objeto de estudio.

5. Aplicación de sistemas de certificación de la sostenibilidad en la edificación

De todas las herramientas de certificación de la sostenibilidad de la edificación mostradas en la Tabla 1, se han aplicado al caso de estudio aquéllas que son de aplicación en España: LEED (2009), VERDE (2013), BREEAM (2005) y Perfil de Calidad (2013), además de otras dos que estaban disponibles en el momento de realizar el estudio: CASBEE (2008) de Japón y GREEN STAR (2013) de Australia.

Todas estas herramientas permiten la certificación del edificio en base a su puntuación en una escala de 1 a 100 puntos. Para que todas las herramientas fueran comparables, se han excluido los 10 puntos adicionales que LEED otorga en el apartado de innovación.

La Tabla 5 muestra la puntuación obtenida con LEED, VERDE, BREEAM y GREEN STAR. Se observa que la edificación obtiene una puntuación en torno al 50 % en los cuatro sistemas.

Tabla 5. Puntuaciones obtenidas por categorías para la vivienda tipo en cuatro sistemas de certificación ambiental

	BREEAM ES	VERDE	LEED	GREEN STAR
Gestión	3,83	0,0	1,0	4,44
Calidad Ambiente Interior	11,67	14,9	11,0	15,79
Energía	14,28	18,05	13,5	9,62
Contaminación	6,33	2,05	0,0	2,86
Agua	3,00	4,2	1,0	7,5
Materiales y Residuos	7,25	7,15	8	3,68
Uso del Suelo y Ecología	3,39	1,4	10,0	1,27
Transporte	3,20	2,5	6,0	4,29
Innovación	0,00	0,0	0,0	0
Total	52,95	50,26	50,5	49

El Perfil de Calidad puntúa cada categoría (Ahorro de energía (HE), Uso de recursos naturales (US), Protección frente al ruido, Accesibilidad y Funcionalidad de los espacios) sobre 100, aunque hasta el momento sólo tiene desarrolladas dos categorías HE y US, cuyas puntuaciones se muestran en la Tabla 6. En ambas categorías se obtiene el mismo resultado de 58 sobre 100, por lo tanto, ligeramente superior a la media del 50 % pero muy similar a los resultados obtenidos en los 4 sistemas analizados anteriormente.

Tabla 6. Puntuaciones obtenidas por categorías para la vivienda tipo en el sistema Perfil de Calidad

HE Ahorro de Energía		US Uso sostenible de recursos naturales	
HE1 Limitación de la demanda	47	US1 Eficiencia en el consumo de agua	21
HE3 Eficiencia energética instalación de iluminación	0	US2 Gestión de materiales y residuos	26
HE4 Contribución solar mínima ACS	7	US3 Criterios de mejora en el diseño	11
HE5 Contribución fotovoltaica mínima de EE	0		
HE6 Reducción del consumo eléctrico	4		
	58		58

Finalmente, la herramienta CASBEE tiene un sistema de puntuación diferente, basado en los *ecopuntos*. La puntuación final se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Built Environment Efficiency (BEE)} = \frac{Q \text{ (Built environment quality)}}{L \text{ (Built environment load)}}$$

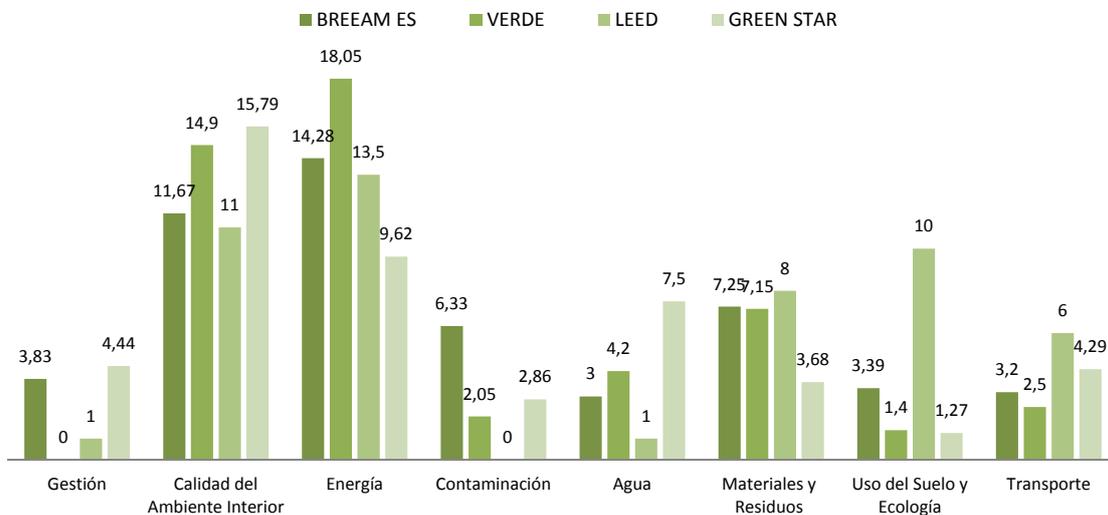
La Tabla 7 muestra los resultados para los indicadores Q y L, obteniéndose Q = 56 y L = 42, con una media del edificio alrededor del 50 %.

Tabla 7. Puntuaciones obtenidas por categorías para la vivienda tipo en CASBEE

Q	Q1 Calidad del ambiente interior	3,4	3,2	56	1,33
	Q2 Larga vida útil	3,3			
	Q3 Creación de un paisaje urbano y ecosistema más rico	2,8			
L	L1 Ahorro de agua y energía	3,4	3,3	42	
	L2 Uso de recursos moderado y reducción de residuos	2,8			
	L3 Consideración del global, local y medioambiente ext.	3,7			

Con el fin de analizar la diferencia entre los resultados obtenidos con cada herramienta analizada, se han representado en la Figura 6 los indicadores para las categorías que utiliza BREEAM, VERDE, LEED y GREEN STAR. En general se aprecia, que las mayores puntuaciones recaen en las categorías de Energía y Calidad del Ambiente Interior.

Figura 6. Comparativa de puntuaciones obtenidas para cada categoría en cuatro sistemas de certificación ambiental



Por último, la Tabla 8 muestra la puntuación obtenida en cada herramienta, obteniéndose que la vivienda sobrepasa la calificación mínima de los cinco sistemas, por lo que puede ser certificada en todos ellos.

Tabla 8. Puntuaciones totales obtenidas y clasificación de la vivienda tipo con los seis sistemas analizados

BREEAM ES	Aprobado: 30-45		Bueno: 45-70	Muy bueno: 70-85	Excelente: 85-100	
Total: 52,95			X			
VERDE	0 hojas: cumplimiento normativo	1 hoja: práctica habitual	2 hojas: valor medio	3 hojas: buenas prácticas	4 hojas: muy buenas prácticas	5 hojas: la mejor práctica
Total: 50,26				X		
LEED	Certificado: 35-50		Plata: 50-65	Oro 65-80	Platino: 80-100	
Total: 50,5			X			
Perfil de Calidad	Alto – 40 puntos			Muy alto – 50 puntos		
Total: 58				X		
CASBEE	C (0-0,5) Baja puntuación	B- (0,5-1)	B+ (1-1,5)	A (1,5-3)	S (>3) Excelente	
Total: 1,33			X			
GREEN STAR	1 STAR (10-19)	2 STAR (20-29)	3 STAR (30-44)	4 STAR (45-59) Buena Práctica	5 STAR (60-74) Excelencia	6 STAR (75-100) Liderazgo
Total: 49				X		

Se puede concluir que los sistemas de certificación de la edificación existentes son muy diversos, ya que cada uno utiliza un sistema propio de indicadores, de puntuación y de clasificación, lo que dificulta poder realizar una comparativa más completa. Además, la mayoría de los indicadores que utilizan son muy cualitativos y dependen del criterio del evaluador. En general, otorgan poco peso a los indicadores sociales y económicos.

Finalmente, respecto a los resultados obtenidos en la comparativa, se observa que analizando la misma edificación con diferentes sistemas se llega a conclusiones similares sobre el nivel de sostenibilidad de la misma. En concreto, la vivienda tipo estudiada sería considerada buena práctica. Únicamente en el Perfil de Calidad sería considerada muy buena práctica, debido a que este sistema se basa en la mejora respecto de la normativa del CTE y la vivienda tipo escogida cumple la normativa en todos los aspectos, e incluso en algunos la supera.

6. Conclusiones

De la comparativa entre herramientas de evaluación ambiental basadas en el ACV se observa que los resultados globales obtenidos no varían excesivamente. Sin embargo, existen grandes diferencias en su distribución entre las diferentes etapas del ciclo de vida del edificio según la herramienta aplicada. Además, presentan el inconveniente de que las bases de datos de inventario que aplican a cada uno de los materiales, recurso energético, etc., no son accesibles ni modificables por el usuario, por lo que es complicado saber su aplicabilidad a un caso de estudio concreto. Este hecho dificulta a la hora de analizar la fiabilidad de los resultados del estudio de ACV, que depende, en gran medida, de la calidad de los datos de inventario aplicados al estudio. Presentan otro inconveniente relacionado con la no valoración de otros aspectos de carácter social, económico, del entorno, etc.

De la comparativa de diferentes sistemas de certificación de la sostenibilidad sobre la vivienda se puede concluir que existen distintos planteamientos de la sostenibilidad, con diferentes criterios e indicadores, aunque aparentemente todos llevan a un nivel de sostenibilidad similar para un mismo edificio. Sin embargo, se han identificado inconvenientes relacionados con la gran heterogeneidad, diferencia en los criterios de selección de indicadores y su evaluación, el número de indicadores y dimensiones y la

carencia de indicadores sociales y económicos. Además, aparentemente, los sistemas analizados son puramente cualitativos y no analizan verdaderamente el ciclo de vida del edificio, los consumos, las emisiones, etc.

En conclusión, parece claro que ninguno de los dos tipos de sistemas sería totalmente adecuado para la evaluación de la sostenibilidad del edificio y que sería necesaria una mayor estandarización de estas herramientas o incluso la creación de un nuevo tipo más completo que englobe las ventajas de las analizadas en este estudio.

7. REFERENCIAS

- ATHENA, 2009. Environmental Impact Estimator software. Athena Sustainable Materials Institute, Merrickville, Canada.
- BEEES, 2010. Building for Environmental and Economic Sustainability. The National Institute of Standards and Technology (NIST), EE.UU.
- BREEAM, 2005. BREEAM Office, Watford, UK.
- Calener Vyp, 2011. <http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/ProgramaCalener/>
- CASBEE, 2008. CASBEE for new construction. <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/>
- Elodie, 2013. <http://www.elodie-cstb.fr>
- GREEN STAR, 2013. Green Star multi-unit residential v1. <http://www.gbca.org.au/green-star/green-star-overview/>
- IDAE, 2011. Análisis del consumo energético del sector residencial en España. Informe final. Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía.
- LEED, 2009. Canada Green Building Council, Ottawa, Canada.
- LIDER, 2007. <http://www.codigotecnico.org/web/recursos/aplicaciones/>
- LISA, 2013. <http://www.lisa.au.com>
- Perfil de calidad, 2013. <http://www.perfildecalidad.es/>
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- VERDE, 2013. VERDE Residencial. Guía de certificación, Green Building Council España.