

APORTACION DE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES DESMONTABLES DE HORMIGÓN PREFABRICADO AL NIVEL DE SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS

CONTRIBUTION OF REMOVABLE PRECAST CONCRETE STRUCTURAL SYSTEMS TO THE SUSTAINABILITY LEVEL OF A BUILDING

Luis de Garrido Talavera

PhD. Architect, PhD Computer Engineer (AI), Director ANAS research center. info@luisdegarrido.com

RESUMEN

En el presente trabajo se evalúa la contribución de la construcción desmontable (basada en paneles prefabricados de hormigón armado) al nivel de sostenibilidad de un edificio. La evaluación del nivel sostenible se ha realizado utilizando 11 de los métodos de evaluación medioambiental internacionales más conocidos: ASGB, BEAM, BREEAM, CEDES, DNGB, GBI, GG, GS, IGBC, LEED y SBTools. Para determinar las ventajas medioambientales se ha realizado un análisis comparativo entre dos edificios. Un edificio de viviendas completamente desmontable ya construido (SAYAB), y una versión del mismo edificio con una construcción convencional. El resultado ha sido que todos los métodos de evaluación han determinado que la construcción desmontable a base de paneles prefabricados de hormigón armado tiene un mayor nivel de sostenibilidad, y han cuantificado su aportación. No obstante, las puntuaciones varían considerablemente: solo tres métodos han detectado claramente las ventajas de la construcción desmontable (CEDES: 22,72 %, DNGB: 14,79 %, SBTools: 12,4 %), pero el resto no la valora demasiado, e incluso tres de ellos le otorgan puntuaciones muy bajas (BEAM: 1,17 %, ASGB: 2,06 %, IGBC: 3,0 %) a pesar de sus importantes ventajas ambientales. Desde luego no es aceptable que un mismo edificio tenga un valor sostenible diferente dependiendo del sistema de evaluación elegido, por lo que se deduce que muchos métodos de evaluación sostenible deben mejorarse. No obstante, los tres mejores métodos determinan que la construcción desmontable proporciona un incremento mayor del 12,0% al nivel de sostenibilidad de un edificio.

Palabras clave: construcción desmontable, sistemas de evaluación, edificios sostenibles, paneles prefabricados de hormigón armado, construcción sostenible

ABSTRACT

This paper evaluates the contribution of demountable construction (based on precast reinforced concrete panels) to a building's sustainability. The sustainability assessment was carried out using 11 of the most widely recognized international environmental assessment methods: ASGB, BEAM, BREEAM, CEDES, DNGB, GBI, GG, GS, IGBC, LEED, and SBTools. To determine the environmental benefits, a comparative analysis was conducted between two buildings: an existing fully demountable residential building (SAYAB) made by precast concrete panels, and a version of the same building with conventional construction. The result was that all assessment methods determined that demountable construction based on precast concrete panels has a higher level of sustainability and quantified its contribution. However, the scores vary considerably: only three methods clearly identified the advantages of demountable construction (CEDES: 22.72%, DNGB: 14.79%, SBTools: 12.4%), while the rest did not value it highly, and three of them even gave it very low scores (BEAM: 1.17%, ASGB: 2.06%, IGBC: 3%) despite its significant environmental advantages. It is certainly unacceptable for the same building to have a different sustainability value depending on the assessment system chosen, so it follows that many sustainability assessment methods need to be substantially improved in the future. However, the three best methods determined that demountable construction provides an increase in a building's sustainability level of over 12%.

Keywords: *Demountable construction, evaluation systems, sustainable buildings, prefabricated reinforced concrete panels, sustainable construction*

1. INTRODUCCION

La construcción desmontable, basada en paneles de hormigón armado, tiene grandes y evidentes ventajas ambientales y económicas, ya que sus componentes se pueden montar y desmontar fácilmente, además de desmontarse, repararse y reutilizarse tantas veces como se desee. De esta forma, se puede maximizar su durabilidad con mantenimiento mínimo, y, como consecuencia, reducir su impacto ambiental a lo largo del tiempo.

Algunos estudios han analizado las ventajas de los edificios desmontables basados en componentes de hormigón armado, especialmente en lo que respecta a la optimización de recursos, la reducción de residuos y emisiones, la reducción del consumo energético, etc. (Chewe y Waldman, 2021; Croonen, 2020; Fayyad y Abdalqader, 2020; Figueira et al., 2021; Jamil et al., 2014; Moradi et al., 2016; Morice y Base, 2015; Odenbreit y Kozma, 2020; Pavlović y Veljković, 2017). Estudios previos analizaron sistemas constructivos específicos, pero utilizando solo unos pocos indicadores de sostenibilidad (Akambi et al., 2019; Boedianto y Walraven, 2000; Cruz et al., 2015; Negrin y Plitt, 2019; Ortlepp et al., 2015; Ortlepp et al., 2017; Reinhardt, 2018; Salama, 2018). De hecho, en la literatura se encuentran muy pocos análisis generales sobre el nivel de sostenibilidad de la construcción modular y desmontable (Pai y Elzarka, 2021).

Por ello, en el presente trabajo se cuantifica la aportación de la construcción desmontable, basada en paneles prefabricados de hormigón armado, en el nivel de sostenibilidad general de los edificios.

2. OBJETIVOS

El presente trabajo tiene dos objetivos principales: por un lado, evaluar la contribución de la construcción desmontable a la sostenibilidad de un edificio y, por otro, determinar si los BRS estudiados constituyen métodos válidos para evaluar dicha sostenibilidad.

Para medir la sostenibilidad de los edificios, se han desarrollado sistemas de evaluación multivariable que consideran todos los aspectos de la sostenibilidad y se conocen como *Sistemas de Evaluación de Edificios Sostenibles* (GBRS).

Para el estudio, se ha evaluado un edificio desmontable mediante once (11) de los sistemas más reconocidos internacionalmente y los resultados se han comparado con los de un edificio convencional para poder obtener la contribución de la construcción desmontable en el nivel de sostenibilidad general. Los GBRS seleccionadas para la prueba son: ASGB, BEAM, BREEAM, CEDES, DNGB, GBI, GG, GS, IGBC, LEED y SBTools.

Cabe destacar que cada vez hay más estudios que cuestionan la utilidad de los GBRS actuales, ya que no se han diseñado bajo el mismo consenso previo sobre el concepto de sostenibilidad (Andújar et al., 2020). Algunos estudios concluyen que los GBRS actuales no pueden evaluar correctamente, ya que no consideran el diseño arquitectónico en su sistema de puntuación (De Garrido, 2008, 2012, 2017; Chen et al., 2015; Katiyar et al., 2021; Lee, 2013). Otros son aún más críticos y concluyen que muchos edificios diseñados según algunos de estos GBRS, no presentan un ahorro energético sustancial ni una optimización de recursos en comparación con los edificios convencionales. Por lo tanto, indican que no merece la pena invertir tiempo ni dinero en GBRS, ya que no garantizan un edificio sostenible y solo proporcionan un certificado que no supone ninguna mejora ambiental (Chen et al., 2015; Katiyar et al., 2021; Scofield, 2009; Scofield y Cornell, 2019; Conniff, 2017). Por si fuera poco, cada vez hay más trabajos que critican duramente la utilidad de algunos de los GBRS más conocidos, como LEED (Scofield y Doane, 2018).

El edificio analizado en este estudio, SAYAB (Fig. 1), se ha construido enteramente a base de componentes prefabricados de hormigón armado, y puede desmontarse y volverse a montar tantas veces como se desee, ya que todos sus componentes son desmontables y pueden repararse y reutilizarse tantas veces como se desee, de modo que se puede prolongar al máximo la durabilidad del edificio y minimizar el impacto ambiental por unidad de tiempo. Dados los enormes beneficios ambientales de la construcción desmontable (máximo aumento de la durabilidad, máxima reducción del impacto ambiental a lo largo del tiempo, reducción de emisiones y residuos, optimización de recursos, disminución del consumo energético,

eliminación de la obsolescencia programada, etc.), cabría esperar que los actuales GBRS los evaluara correctamente, pero no ha sido así.

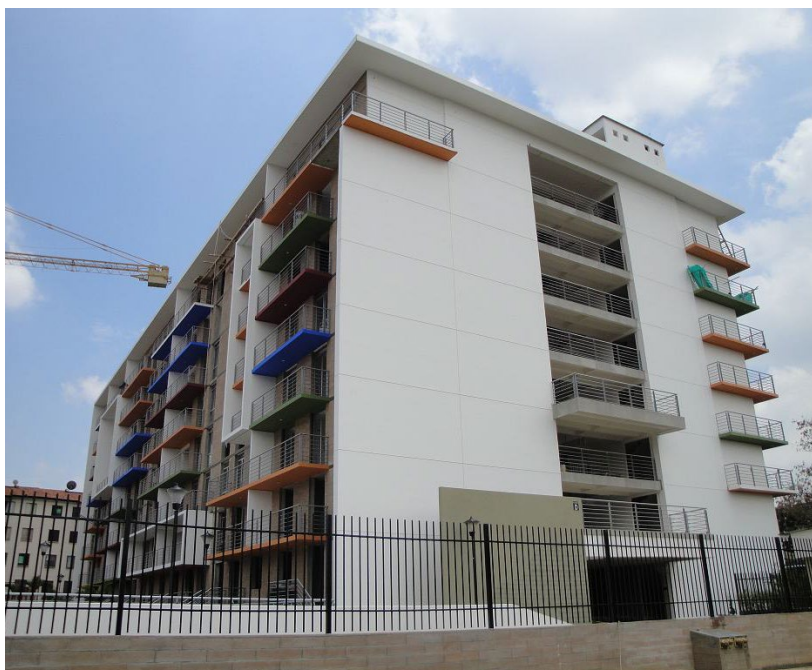


Figura 1. Edificio SAYAB (Proyecto y fotografía de Luis de Garrido)

3. METODOLOGIA

Para determinar con precisión la contribución de la construcción desmontable a la puntuación de sostenibilidad de un edificio, se ha comparado un edificio desmontable (SAYAB) con su versión construida de forma convencional (ND-SAYAB). Solo se han utilizado en la evaluación comparativa los indicadores cuyas puntuaciones varían al tener en cuenta la desmontabilidad. Los edificios se han analizado mediante 11 de los mejores y más utilizados GBRS.

SAYAB es un complejo de cuatro edificios residenciales destinados al estrato social medio (estrato 4), construido en Cali, Colombia. Cada edificio contiene alrededor de 100 viviendas con una superficie promedio de unos 60 m² (Sayab, 2024). En este estudio, se analiza uno de los cuatro bloques (Fig. 1 y 2).

3.1 Descripción del edificio desmontable SAYAB

3.1.1 Información general

SAYAB se ha diseñado con un alto nivel ecológico y sostenible, y de hecho ha sido reconocido internacionalmente en diversas publicaciones y galardonado. Se ha construido empleando diversas estrategias para optimizar al máximo los recursos y minimizar los residuos y emisiones en todas las etapas de su construcción. El edificio cuenta con un refinado diseño bioclimático, por lo que las viviendas no necesitan aparatos de aire acondicionado, ni calefacción, ni ventilación. Como consecuencia, las viviendas SAYAB tienen un consumo energético mínimo (apenas un 30% del habitual en este tipo de viviendas de la zona).

El edificio SAYAB prácticamente no requiere mantenimiento gracias a la robustez y durabilidad de los materiales utilizados, y a la escasa instalación de aparatos. SAYAB también se construyó con materiales saludables, que no producen emisiones, para maximizar el bienestar y la salud de sus residentes. Cabe destacar que el coste económico de las viviendas es similar al precio medio de mercado de otras viviendas de las mismas características en la misma zona. Sin embargo, su característica más destacable es que se ha construido con componentes industrializados, modulares, prefabricados y desmontables, incluida su estructura (Fig. 3).



Figura 2. Planta baja del bloque de viviendas SAYAB (Proyecto de Luis de Garrido)

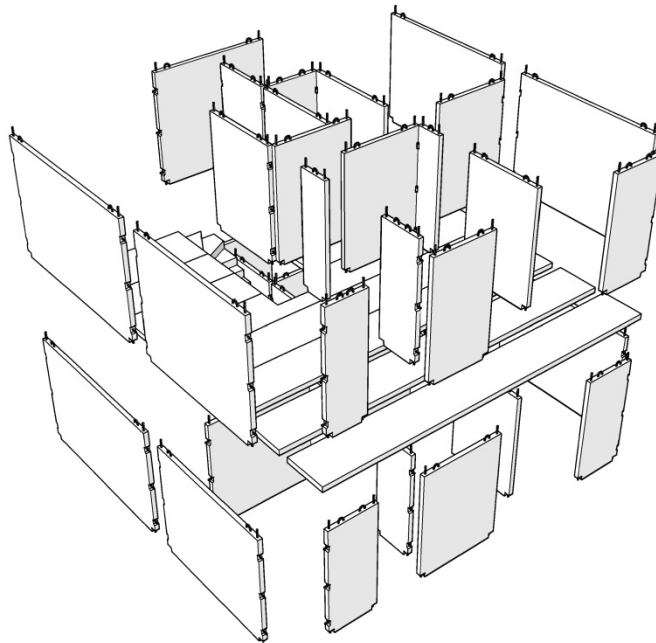


Figura 3. Estructura desmontable de SAYAB basada en paneles prefabricados de hormigón armado (Proyecto de Luis de Garrido)

3.1.2 Total desmontabilidad

La estructura del edificio SAYAB (cimentación, muros de carga y losas) se ha construido con paneles prefabricados de hormigón armado ("formaletas"), ensamblados mediante conectores metálicos para evitar desplazamientos diferenciales entre los diferentes componentes (Figs. 3, 4 y 5). Sin embargo, la robustez y rigidez del conjunto se logran mediante un ensamblaje adecuado entre los paneles (Fig. 6). La estructura desmontable final es capaz de resistir todas las tensiones externas, incluyendo las fuertes demandas sísmicas de la zona (la actividad sísmica es significativa en Cali). Todos los paneles estructurales se pueden desmontar fácilmente del edificio para facilitar su reparación o reemplazo. Las envolventes arquitectónicas también están hechas de bloques de hormigón y paneles de madera-cemento, que también se pueden desmontar fácilmente. Los elementos metálicos exteriores (puertas y ventanas) y todos los elementos decorativos son desmontables. Incluso las instalaciones y el equipamiento del edificio se han realizado con componentes desmontables que también se pueden desmontar, reparar y reutilizar fácilmente.

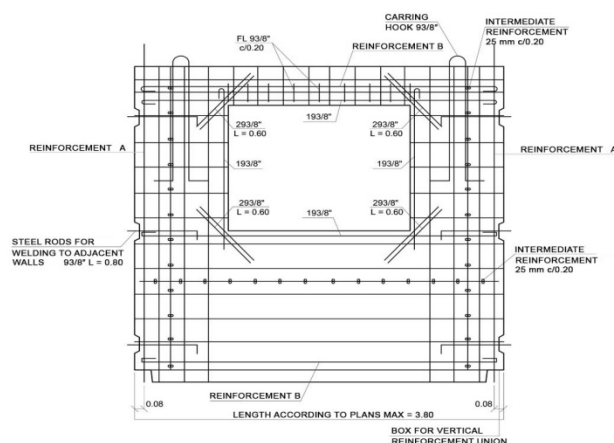


Figura 4. Armado de los paneles prefabricados de hormigón utilizados en SAYAB (Proyecto de Luis de Garrido)



Figura 5. Proceso de montaje de paneles prefabricados desmontables de hormigón armado en SAYAB

(Proyecto y fotografía de Luis de Garrido)

Como resultado, todos los componentes del edificio pueden extraerse, repararse y reutilizarse indefinidamente, lo que le proporciona una durabilidad infinita. La reparación de los componentes es sencilla y, si es necesario, pueden sustituirse por nuevos. En consecuencia, al maximizar la durabilidad del edificio y minimizar la necesidad de mantenimiento, el impacto ambiental por unidad de tiempo tiende a cero. Cabe añadir que los componentes de SAYAB pueden repararse y reutilizarse tantas veces como sea posible; sin embargo, si algunos de estos componentes están muy deteriorados y su reparación resulta muy costosa, podrían utilizarse en otro tipo de construcción menos exigente estéticamente (por ejemplo, un muro de contención). De esta manera, se aumenta aún más la durabilidad de los componentes y se reduce aún más su impacto ambiental.

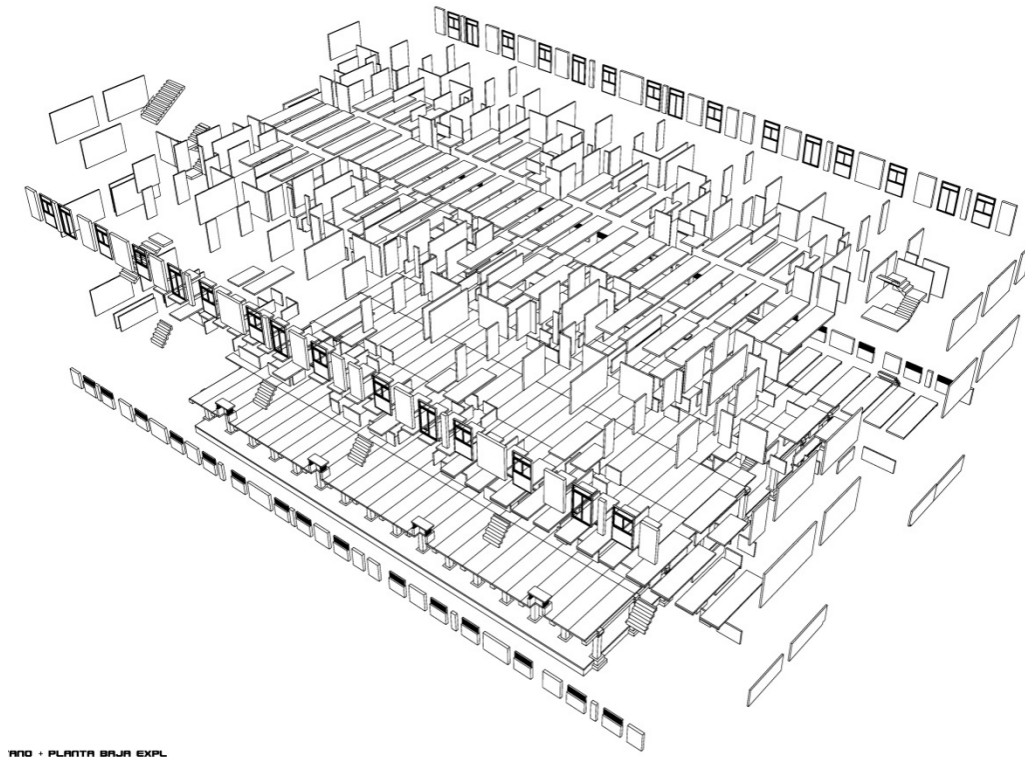


Figura 6. Desglose de paneles estructurales desmontables y componentes prefabricados de SAYAB (Proyecto de Luis de Garrido)

Las ventajas ambientales y económicas de un edificio desmontable, como se ha estudiado en estudios previos (Boedianto y Walraven, 2000; Cruz et al., 2015; De Garrido, 2008, 2012 y 2017; Negrin y Plitt, 2019; Ortlepp et al., 2015; Ortlepp et al., 2017), son numerosas, y entre ellas destacan las siguientes:

- Adaptabilidad a nuevos usos
- Rapidez de construcción
- Fácil reconfiguración del edificio
- Fácil reparación
- Menor necesidad de mantenimiento
- Bajo consumo energético
- Baja generación de emisiones y residuos
- Máxima optimización de recursos

Por lo tanto, se asume que los diferentes GBRS deben valorar adecuadamente estas ventajas y asignar una puntuación considerable al desmontaje. De lo contrario, se deduciría que los GBRS que no lo evalúen adecuadamente serían deficientes y deberían modificarse.



Figura 7. Estructura de SAYAB, basada en paneles prefabricados desmontables de hormigón armado (Proyecto de Luis de Garrido)

3.2 Descripción del edificio no desmontable ND-SAYAB

Para medir la puntuación diferencial de los sistemas GBRS individuales en cuanto a construcción desmontable, se comparó el SAYAB con un edificio no desmontable, conocido como ND-SAYAB, que, de hecho, es el mismo edificio construido convencionalmente. Para ello, se asumió que ningún elemento del ND-SAYAB es desmontable y que presenta características y detalles constructivos similares a la construcción habitual de edificios residenciales de clase media en Colombia: cimentación basada en zapatas flexibles de hormigón armado; estructura basada en losas unidireccionales de vigas, viguetas de hormigón pretensado y bóvedas de hormigón; pilares de hormigón armado; tabiques interiores basados en mampostería o panales de yeso-celulosa; cubierta plana ventilada; acabados exteriores basados en fratasado y enlucido de cemento, tratados con pinturas plásticas convencionales.

3.3 Evaluación comparativa entre SAYAB y ND-SAYAB

SAYAB y ND-SAYAB se han evaluado utilizando una selección de los GBRS más importantes y representativos existentes: ASGB (ASGB 2019), BEAM (BEAM 2024), BREEAM (BREEAM 2018), CEDES (CEDES 2024), DGNB (DGNB 2023), GBI (GBI 2014), GG (GG 2022), GS (GS 2022), IGBC (IGBC 2019), LEED (LEED 2019) y SBTools (SBTool 2022).

Para evaluar la contribución de la construcción desmontable al nivel general de sostenibilidad, se comparó SAYAB con ND-SAYAB utilizando once (11) de los GBRS más populares, considerando únicamente los indicadores relacionados con la desmontabilidad, creando una tabla comparativa para cada GBRS utilizado. El conjunto de indicadores cuya puntuación varía al comparar un edificio desmontable con uno no desmontable se denomina «grupo desmontable» (Tabla 1). Las tablas de evaluación muestran, para cada uno de los dos edificios:

- La puntuación otorgada a cada indicador (*Puntos*)
- La puntuación máxima posible para cada indicador (*P_{máxima}*)
- El peso del indicador dentro de la categoría a la que pertenece (*P_{indicador}*)
- El peso de la categoría (*P_{categoría}*)
- El factor de conversión de la escala de puntuación de cada método, para convertirla en una escala de 0 a 100 (ya que algunos GBRS puntúan de 0 a 75, otros de 0 a 100, otros de 0 a 110 y otros de 0 a 1000. Por lo tanto, los factores de conversión utilizados son: 100/75, 100/100, 100/110 y 100/1000).
- Puntuación total, en porcentaje de 0 a 100

Al multiplicar la puntuación proporcional de un indicador (puntuación/puntuación máxima) por el peso de la categoría y por el coeficiente de conversión, se obtiene un valor (de 0 a 100) que representa la contribución de cada indicador a la puntuación total. La suma de la puntuación de todos los indicadores del grupo "desmontable" proporciona la puntuación total de cada grupo, tanto para SAYAB como para ND-SAYAB. La contribución de la construcción desmontable se obtiene restando las puntuaciones totales de ambos edificios, para cada tabla utilizada. Cabe destacar que cada GBRS tiene una estructura interna y un sistema de puntuación diferente. Algunos GBRS no tienen categorías, sino solo indicadores, y la determinación del peso específico de cada sistema es diferente y debe calcularse sobre una base común de 0 a 100. Si bien todas las tablas muestran esencialmente lo mismo: la puntuación final de cada indicador en una escala de 0 a 100 y la suma de todos los indicadores al evaluar SAYAB con ND-SAYAB.

Para describir el proceso de evaluación y la contribución de cada indicador en la evaluación final del edificio, tomemos el ejemplo: el Sistema de Evaluación ASGB (Tabla 1).

El Indicador del ASGB "Adaptabilidad del Edificio (BA)" tiene una puntuación máxima de 18 puntos. Este indicador tiene una ponderación de 18/100 dentro de la Categoría "Seguridad y durabilidad (SD)", que a su vez tiene una ponderación de 10 sobre 110 (ASGB tiene un rango de evaluación total de 0 a 100+10). El Indicador BA ha sido puntuado en SAYAB con 12 (sobre un máximo de 18), es decir, $(12/18) (=0,66)$. Al multiplicar este valor (0,66) por la ponderación del Indicador BA dentro de la categoría, se obtiene un valor de $(0,66 * (18/100))$, es decir, 0,12. Al multiplicar este valor por la ponderación de la Categoría SD en la puntuación total, se obtiene $(0,12 * (10/100)) = 0,012$, dentro del rango de puntuación de (0-110). Al convertir

este porcentaje al rango de puntuación común de (0-100), la puntuación final es $(0,012 * (100 / 110)) = 0,0109$, es decir, 1,09 %.

El Indicador BA ha sido puntuado en ND-SAYAB con 6 (sobre un máximo de 18), es decir, $((6/18) = 0,33)$. Al multiplicar este valor (0,33) por la ponderación del Indicador BA dentro de la categoría, se obtiene un valor de $(0,66 * (18/100))$, es decir, 0,06. Al multiplicar este valor por la ponderación de la Categoría SD en la puntuación total, se obtiene $(0,06 * (10/100)) = 0,006$, un porcentaje basado en una puntuación de (0-110). Al convertir este porcentaje a una base común de (0-100), la puntuación final es $(0,006 * (100 / 110)) = 0,0055$, es decir, 0,55 %.

Tabla 1. Diferencias de puntuación entre SAYAB y ND-SAYAB

Indicadores de desmontabilidad		Sayab						ND- Sayab					
Indicadores	Categoría	Puntos	Pmáxima Score	Pindicador weight	Pcategoría weight	(0-110)	(0-100)	Puntos	Pmáxima	Pindicador weight	Pcategoría weight	(0-110)	(0-100)
BA (*1)	SD (*6)	12	18	18/100	10%	1.20	1.09%	6	18	18/100	10%	0.60	0.55%
LULC (*2)	SD	10	10	10/100	10%	1.00	0.91%	6	10	10/100	10%	0.60	0.55%
IIDP (*3)	RC (*7)	8	8	8/200	20%	0.80	0.73%	4	8	8/200	20%	0.40	0.36%
URRWM (*4)	RC	12	12	12/200	20%	1.20	1.09%	6	12	12/200	20%	0.60	0.55%
SSIC (*5)	II (*8)	10	10	10/190	10%	0.53	0.48%	5	10	10/190	10%	0.27	0.24%
Puntuación		4.30%						2.24%					
Diferencia								2,06 %					

ASGB proporciona una puntuación máxima de 100 puntos, y 10 puntos adicionales, por lo que el rango de puntuación es de 0 a 100

(*1) Building adaptability, (*2) Longer useful life of components, (*3) Industrialized interior design parts, (*4) Use of recyclable, reusable and waste materials, (*5) Structural system and industrialized components, (*6) Security and durability, (*7) Resource conservation, (*8) Improvement and innovation

Repetiendo el proceso con los 5 indicadores de desmontabilidad en ASGB, SAYAB obtiene una puntuación del 4,30 %, en comparación con el 2,24 % de ND-SAYAB. Es decir, según ASGB, el sistema constructivo completamente desmontable utilizado en SAYAB aporta un 2,06 % (4,30-2,24) al nivel de sostenibilidad de un edificio (Fig. 8).

4. RESULTADOS

Se ha repetido el proceso de evaluación comparativa mostrado en el apartado anterior con los 11 GBRS elegidos. De este modo se ha cuantificado el aporte de la construcción desmontable (basada en paneles prefabricados de hormigón armado) al nivel sostenible de un edificio, utilizando los 11 GBRS. Los resultados de la evaluación han sido los siguientes: ASGB: 2.06 %, BEAM: 1.17 %, BREEAM: 5.38 %, CEDES: 22.72 %, DNGB: 14.79 %, GBI: 7 %, GG: 4.90 %, GS: 5.46 %, IGBC: 3 %, LEED: 4.54 % y SBTools: 12.4 % (Fig. 8).

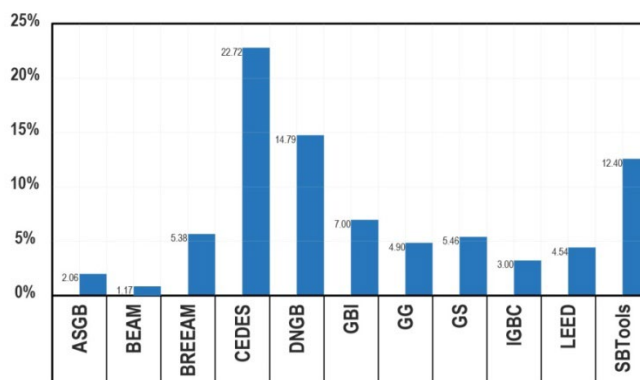


Figura 8. Contribución de la construcción desmontable al nivel de sostenibilidad de un edificio, utilizando 11 GBRS

Se observa una amplia variación en los resultados según el GBRS elegido. Solo tres de los GBRS utilizados evaluaron adecuadamente las ventajas ambientales de la construcción desmontable basada en componentes prefabricados de hormigón (CEDES: 22,72 %, DNGB: 14,79 % y SBTools: 12,4 %). Los demás GBRS la han

considerado poco valiosa y tres le han otorgado una puntuación muy baja (BEAM (1,17 %), ASGB (2,06 %) e IGBC (3 %).

En general, se observan dos cosas: en primer lugar, la mayoría de los sistemas subestiman la construcción desmontable y solo tres de ellos la valoran adecuadamente, mientras que existe una enorme disparidad en las puntuaciones otorgadas por los distintos GBRS. Es inaceptable que un mismo edificio obtenga puntuaciones de sostenibilidad significativamente diferentes según el GBRS utilizado. Esto demuestra, sin duda, que la mayoría de los GBRS actuales no son adecuados para medir el nivel de sostenibilidad de los edificios, y deberían modificarse adecuadamente.

5. CONCLUSIONES

Este trabajo ha demostrado que la construcción desmontable tiene un mayor nivel de sostenibilidad que la construcción convencional. Para ello, y utilizando once (11) GBRS, se ha evaluado un edificio desmontable de viviendas junto con otro con construcción convencional y se han comparado los resultados obtenidos. El edificio analizado es completamente desmontable y sus componentes se montan y desmontan fácilmente, por lo que pueden desmontarse, repararse fácilmente y reutilizarse tantas veces como sea necesario para prolongar al máximo su vida útil, reduciendo al máximo el impacto ambiental por unidad de tiempo.

Sin embargo, paralelamente, también se ha demostrado la falta de idoneidad de los principales GBRS actuales para medir la contribución de la construcción desmontable al nivel de sostenibilidad de un edificio. Teniendo en cuenta los grandes beneficios ambientales de la construcción de edificios desmontables (máximo aumento de la durabilidad, máxima disminución del impacto ambiental por unidad de tiempo, disminución de emisiones y residuos, optimización de recursos, disminución del consumo energético, eliminación de la obsolescencia programada, etc.), cabría esperar que los GBRS actuales las valoraran adecuadamente, otorgándoles una puntuación alta. Sin embargo, no fue así. Ocho de los once GBRS utilizados han otorgado muy poco valor a la construcción desmontable, a pesar de sus evidentes beneficios ambientales. Por si fuera poco, los diferentes GBRS han proporcionado puntuaciones muy diferentes para el mismo edificio. Y desde luego no es aceptable que un mismo edificio tenga puntuaciones tan diferentes según el GBRS utilizado. Los resultados del presente estudio, y para un caso práctico concreto, muestran que la mayoría de los GBRS actuales no pueden evaluar correctamente el nivel de sostenibilidad de un edificio y deberían mejorarse. Se deberían realizar más estudios como este para poder concluir, de forma general, que los diferentes GBRS otorgan de forma general puntuaciones diferentes a un mismo edificio y que, por lo tanto, deberían mejorarse. No obstante, los indicadores involucrados en la desmontabilidad en cada sistema siempre serán los mismos, por lo que de tan solo un caso práctico se puede deducir una generalización. Finalmente, en el presente estudio se ha observado que los GBRS que evalúan más adecuadamente la construcción desmontable son: CEDES, SBTools y DNGB.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akanbi, L., Oyedele, L., Omoteso, K., Bilal, M., Akinade, O., Ajayi, A., Dávila Delgado, J. M. & Owolabi, H. (2019). Disassembly and deconstruction analytics system (D-DAS) for construction in a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 223, 386-396. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.172>
- ANAS 2024. Asociación Nacional para la Arquitectura Sostenible, España. www.anas-sostenible.com
- Andújar, J. M., Gómez, S. & Sánchez, A. (2020). Green building rating systems and the new framework level(s): A Critical Review of Sustainability Certification within Europe. *Energies*, 13(1), 66. <https://doi.org/10.3390/en13010066>
- ASGB 2019. Assessment Standard for Green building <https://www.eia543.com/documents/14%E5%BB%BA%E7%AD%91%E8%AE%BE%E8%AE%A1%26%E5%AE%A4%E5%86%85%E7%A9%BA%E6%B0%94%E6%B1%A1%E6%9F%93%E7%A0%94%E7%A9%B6/%E7%BB%BF%E8%89%B2%E5%BB%BA%E7%AD%91%E8%AF%84%E4%BB%B7%E6%A0%87%E5%87%86%EF%BC%88GB%20T%2050378-2019%EF%BC%89.pdf>
- BEAM 2024. Building Environmental Assessment Method. HK-BEAM Plus. 4/04 New Buildings – Technical Manual. <https://www.ibeam.hk/public/knowledgeDatabase/?tab=downloadArea>

- Boedianto, P. & Walraven, J. (2000). Optimizing the environmental impact of demountable building. *International Symposium on Intergrated Life-Cycle Design of Materials and Structures*, Ed. A. Sarja, 135-141 <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:114544276>
- BREEAM 2018. Building Research Establishment Environmental Assessment Method ES. 2019. New Construction 2018 3.0 – Technical Manual. <https://breeam.es/manuales-tecnicos>
- CEDES 2024. Comprehensive Environmental Design and Evaluation System. CEDES Technical Manual. GBRS designed by National Association for Sustainable Architecture in Spain. <https://www.anas-sostenible.com/>
- Chen, X., Yang, H. & Lu, L. (2015). A comprehensive review on passive design approaches in green building rating tools. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, 50(C), 1425-1436. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.003>
- Chewe Ngapeya, G. & Waldmann, D. (2021). Design model for dry-stacked and demountable masonry blocks. *ORBilu Support*. <http://hdl.handle.net/10993/46894>
- Conniff, R. (2017). Why Don't Green Buildings Live Up to Hype on Energy Efficiency? *Yale Environment* 360: New Haven, CT. <https://e360.yale.edu/features/why-dont-green-buildings-live-up-to-hype-on-energy-efficiency>
- Croonen, L. (2020). *A sustainable and reusable concrete facade system*. [Master's Thesis, TU Delft Architecture and the Built Environment]. <http://resolver.tudelft.nl/uuid:ff156480-0d96-4530-90d5-a6234d6f6b68>
- Cruz Rios, F., Chong, W. & Grau, D. (2015). Design for Disassembly and Deconstruction - Challenges and Opportunities. *Procedia Engineering*, 118, 1296-1304. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.485>
- De Garrido, L. (2008). *Analysis of Sustainable Architecture Projects. "Artificial Natures 2001-2008"*. McGraw-Hill. ISBN 978-84-481-6802-5
- De Garrido, L. (2012). *A New Paradigm in Architecture*. Monsa. ISBN 978-84-152-2375-7
- De Garrido, L. (2017). *Manual of Advanced Ecological Architecture*. Editorial Nobuko Design. ISBN. 978-98-74160126
- DGNB 2023. Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen. DGNB system 2023 – Technical Manual. <https://www.dgnb.de/en/certification/buildings/new-construction/version-2023>
- Fayyad, T. & Abdalqader, A. (2020). Demountable Reinforced Concrete Structures: A Review and Future Directions. *Civil Engineering Research in Ireland 2020*. 5, 5. <https://event.ceri2020.exordo.com/>
- Figueira, D., Ashour, A., Yıldırım, G., Aldemir, A. & Şahmaran, M. (2021). Demountable connections of reinforced concrete structures: Review and future developments. *Structures*, 34, 3028-3039. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.09.053>
- GBI 2014. Green Building Index . 2014 V. 3.1– Technical Manual. <https://www.greenbuildingindex.org/gbi-tools/>
- GG 2022. Green Globes. Technical Reference Manual Version 1.0 - September 2022.
- GS 2022. Green Star. Green Star Design & As Built V1.2 – Technical Manual
- IGBC 2019. Indian Green Building Council. IGBC Green New Buildings Rating Systems V3.0 – Technical Manual.
- Jamil, M., Zain, M. & Sadafi, N. (2014). Structural and Functional Analysis of an Industrial, Flexible, and Demountable Wall Panel System. *International Journal of Engineering*, 27(2), 247-260. <https://doi.org/10.5829/idosi.ije.2014.27.02b.09>
- Katiyar, M., Sahu, A. K., Agarwal, S. K. & Tiwari, P. K. (2021). Role of Spatial Design in Green Buildings-A Critical Review of Green Building Rating Systems. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1116, 1, 12-166. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1116/1/012166>
- Lee, W. (2013). A comprehensive review of metrics of building environmental assessment schemes. *Energy and Buildings* 62, 403-413. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.03.014>
- LEED 2019. *Leadership in Energy and Environmental Design*. LEED v4.1 Residential BD+C Multifamily Homes – Technical Manual. <https://www.usgbc.org/tools/leed-certification/homes> [CLASIFICACION.pdf](#)
- MAS 2024. Advanced Master in Sustainable, Bioclimatic and Self-Sufficient Architecture (M.A.S.). www.masterarquitectura.info

- Moradi, M., Valipour, H., Foster, S. & Bradford, M. (2016). Deconstructable steel–fibre reinforced concrete deck slabs with a transverse confining system. *Materials & Design*, 89, 1007-1019 . <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.10.059>
- Morice, P. & Base, G. (2015). The design and use of a demountable mechanical strain gauge for concrete structures. *Magazine of Concrete Research*, 5(13), 37-42. <https://doi.org/10.1680/mac.1953.5.13.37>
- Negrin, F. & Plitt, T. (2019). Designer demountable. *Sanctuary: Modern Green Homes*, 48, 16-21. <https://www.jstor.org/stable/26906361>
- Odenbreit, C. & Kozma, A. (2020). Demountable and reusable construction system for steel-concrete composite structures. In A. Chen, X. Ruan, & D. Frangopol, *Life-Cycle Civil Engineering: Innovation, Theory and Practice*. 521-528. <http://dx.doi.org/10.1201/9780429343292-66>
- Ortlepp, S., Masou, R., & Ortlepp, R. (2015). Demountable construction for sustainable buildings. *High Performance Fiber Reinforced Cement Composites (HPFRCC)*, Stuttgart, vol. 7
- Ortlepp, S., Masou, R. & Ortlepp, R. (2017). Green construction methods of buildings capable for disassembly to support circular economy. In F. da Silva, H. Bártolo, P. Bártolo, R. Almendra, F. Roseta, H. Almeida, & A. Lemos, *Challenges for Technology Innovation: An Agenda for the Future*. Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9781315198101>
- Pai, V. & Elzarka, H. (2021). Whole building life cycle assessment for buildings: A case study ON HOW to achieve the LEED credit. *Journal of Cleaner Production*, 297, 126501 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126501>
- Pavlović, M. & Veljković, M. (2017). Prefabricated demountable concrete and FRP decks in composite structures. *ce/papers*, 1, 1889-1898. <https://doi.org/10.1002/cepa.233>
- Reinhardt, H. (2018). Demountable concrete structures – an energy and material saving building concept. *International Journal of Sustainable Materials and Structural Systems* 1(1), 18-28. <http://dx.doi.org/10.1504/IJSMSS.2012.050452>
- Salama, W. (2018). *Design for disassembly as an alternative sustainable construction approach to life-cycle-design of concrete buildings*. [Doctoral thesis, Gottfried Wilhelm Leibniz University]. <https://doi.org/10.15488/5121>
- Sayab 2024. <https://luisdegarrido.com/es/proyectos-realizados/sayab/>
- SBTool 2022. SBtools for performance assessment 2022. <https://www.iisbe.org/sbmethod>
- Scofield, J. H. (2009). “Do LEED-certified buildings save energy? Not really...”. *Energy and Buildings*, 41, 1386-90. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.08.006>
- Scofield, J. H. & Cornell, J. (2019). A critical look at “Energy savings, emissions reductions, and health co-benefits of the green building movement”. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 29, 584-593. <https://www.nature.com/articles/s41370-018-0078-1.pdf>
- Scofield, J. H. & Doane, J. (2018). Energy performance of LEED-certified buildings from 2015 Chicago benchmarking data, *Energy and Buildings*, 174, 402-413. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.06.019>