



ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN EN LOS SISTEMAS DE EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD

Versión 2 – enero 2022

1. INTRODUCCIÓN	4
2. BREEAM	8
2.1. Presentación general	8
2.2. Procedimiento de certificación	9
2.3. Potencial de los elementos prefabricados de hormigón en BREEAM	15
3. LEED	25
3.1. Presentación general	25
3.2. Procedimiento de certificación	25
3.3. Potencial de los elementos prefabricados de hormigón en LEED	29
4. VERDE	38
4.1. Presentación general	38
4.2. Procedimiento de certificación	38
4.3. Potencial de los elementos prefabricados de hormigón en VERDE	41
5. DGNB	43
5.1. Presentación general	43
5.2. Procedimiento de certificación	43
5.3. Potencial de los elementos prefabricados de hormigón en DGNB	45
6. WELL	46
6.1. Presentación general	46
6.2. Procedimiento de certificación	47
6.3. Potencial de los elementos prefabricados de hormigón en WELL	49
7. HQE	52
7.1. Presentación general	52
7.2. Procedimiento de certificación	52
7.3. Potencial de los elementos prefabricados de hormigón en WELL	53
8. OTROS SISTEMAS DE EVALUACIÓN DE EDIFICIOS	54
8.1. Certificación energética de edificios y viviendas	54
8.2. Passivhaus	57
8.3. CO2Nulo	59
8.4. SB-Tool	60
8.5. Green Star	61
8.6. Energy Star	61
8.7. Pearl Rating	61

8.8.	NABERS	62
8.9.	Minergie-ECO.....	62
9.	NORMATIVA DE EDIFICACIÓN SOSTENIBLE.....	63
9.1.	Situación normativa actual	63
9.2.	LEVEL(s).....	67
10.	SISTEMAS DE EVALUACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS	71
10.1.	CEEQUAL	71
10.2.	ENVISION	71
10.3.	HQE.....	72
10.4.	SUNRA	73
10.5.	SAMCEW.....	74
10.6.	Normativa de infraestructuras sostenibles	75
11.	SISTEMAS DE EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN.....	77
11.1.	Código Estructural	77
11.2.	Código Modelo	89
11.3.	Norma ISO 13315-1	89
	VÍDEOS	91
	REFERENCIAS	92
	BIBLIOGRAFÍA ANDECE.....	93

1. INTRODUCCIÓN

Se puede considerar como construcción sostenible aquella que cumpla en el mayor grado posible las tres dimensiones principales de la sostenibilidad (ambiental - económica - social), cumpliendo algunos de los siguientes criterios:

- Consuma menos recursos, primando materias primas locales y accesibles, además de reciclables/reutilizables al final de la vida útil (economía circular);
- Sistemas constructivos multiprestacionales, más durables, menos susceptibles de mantenimiento, reutilizables y desmontables al final de la vida útil
- Resulten menos emisiones operativas (caso de los edificios de consumo de energía casi nula) y cubra al máximo la demanda de energía a partir de fuentes renovables;
- Tenga menos emisiones embebidas;
- Tenga costes razonables de inversión y de operación;
- Esté adaptado al entorno climático.

Los sistemas de evaluación, certificación o estándares de construcción sostenible buscan sintetizar de forma cuantitativa y objetiva el comportamiento de la construcción (edificio o infraestructura) y sus impactos, con el objeto de que sea posible su comparación con otras construcciones o con las mejores prácticas disponibles.

Como consecuencias más inmediatas, su aplicación permite obtener, por lo general, una mayor rentabilidad para quien construye, opera o mantiene el activo (dimensión económica de la sostenibilidad), un menor impacto en el medio ambiente (dimensión ambiental) y un mayor confort y salud para quien vive, trabaja o simplemente lo utiliza en el caso de los edificios (dimensión social).

En los últimos años se ha incrementado la implantación de certificaciones ligadas al ámbito de la construcción sostenible, especialmente las enfocadas principalmente hacia la dimensión medioambiental y las relacionadas con la edificación más que con la [obra civil](#).

El funcionamiento de la mayoría es muy similar. Se establecen una serie de categorías y para cada una de ellas, una relación de indicadores o requisitos que en la medida que se cumplan, se

irán obteniendo una cantidad de puntos o créditos. Los puntos obtenidos en cada categoría pasan por un factor de ponderación que tiene en cuenta la importancia relativa de cada área de impacto. Con el resultado final de puntos conseguidos, se determinará un grado de calificación de la sostenibilidad, en base a la clasificación que establezca el sistema de evaluación.

Un rasgo común de todos estos estándares es que la mayoría han sido desarrollados por entidades privadas, aunque coexisten con otros [sistemas normalizados](#).

Si bien estos sistemas de certificación son todavía de aplicación voluntaria, comienza a establecerse algún tipo de obligatoriedad, o al menos una recomendación por parte de ciertas administraciones, como es el caso por ejemplo, de BREEAM en el Reino Unido, donde todas las nuevas escuelas y hospitales de índole público deberán alcanzar la clasificación “muy buena” siguiendo este esquema de construcción sostenible.

Los estándares van mucho más allá de la normativa oficial y pueden ser considerados la vanguardia en la construcción sostenible.

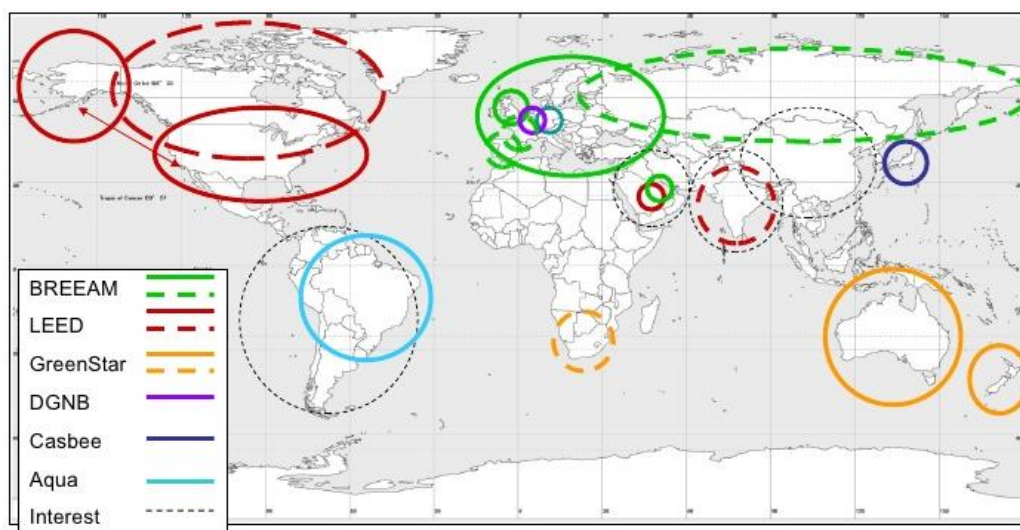


Figura.- Áreas de influencia de los principales sistemas de certificación de construcción sostenible

En esta guía técnica vamos a centrarnos principalmente en los sistemas de mayor aplicación en España, presentando en primer lugar su estructura y contenido, y a continuación en qué medida los distintos elementos prefabricados de hormigón pueden contribuir a alcanzar un mayor grado de sostenibilidad, todo con el objetivo principal de facilitar a las empresas fabricantes una mejor

comprensión de estos sistemas de evaluación y que les permita analizar en qué categorías para el esquema de certificación considerado, puede o podría llegar a contribuir a la obtención de créditos. Esto tiene como objetivo hacer una valoración de cuánto le costaría económica y operativamente a la empresa el mejorar su posicionamiento en una posible evaluación frente a un sistema de certificación, ya sea frente a otros fabricantes de los mismos productos o frente a otras soluciones alternativas, todo con el objetivo de ganar competitividad ante proyectos y obras que se certifiquen bajo estos sistemas de sostenibilidad.

En lo que respecta al uso del hormigón prefabricado, los requisitos establecidos en los sistemas de certificación de la sostenibilidad adquieren gran relevancia. Esto viene determinado, por un lado por la propia naturaleza del material, el hormigón y las distintas materias primas que lo conforman (cemento, áridos, agua o acero). Y por otro lado, la versatilidad y potencial que ofrecen los elementos prefabricados como producto acabado, pudiendo contribuir a la obtención de créditos ya sea de forma directa (reconocen el cumplimiento de un determinado requisito) o indirecta (contribuyen parcialmente a cumplirlo).

- Puntos obtenidos directamente por el uso del material: con bajo impacto ambiental, o alto nivel de contenido reciclado;
- Puntos obtenidos directamente por la técnica de la prefabricación: menor generación de residuos en obra, mayor eficiencia estructural por el uso del pretensado (mejora de la relación entre sección material y prestaciones mecánicas), posible inclusión de instalaciones embebidas desde la fase de fabricación, etc.;
- Puntos conseguidos de forma indirecta a través de la mejora en las prestaciones: durabilidad, protección acústica, resistencia al fuego, eficiencia energética por la mayor inercia térmica, resiliencia a inundaciones, etc.



No obstante, cabe apuntar que, de forma general, en los sistemas de evaluación de la sostenibilidad de la construcción, el resultado final para determinar los puntos totales depende más que de los elementos constructivos como tal, del diseño del edificio, su ubicación, orientación, materiales, definición de la envolvente o de los sistemas empleados.

2. BREEAM

2.1. Presentación general

BREEAM® (*Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology*) fue el método pionero de evaluación y certificación de la sostenibilidad de edificios. Presente en el Reino Unido desde 1990, el boom de la demanda de certificación de sostenibilidad a nivel global dio lugar a la aparición en el año 2008 del esquema de certificación *BREEAM International*, aplicable a edificios fuera del Reino Unido.

Desde el año 2010 está adaptado a la normativa española por el Instituto Tecnológico de Galicia (ITG), que es reconocido como el Operador Nacional del certificado en España. BREEAM es el único certificado con presencia internacional que realiza una adaptación de sus esquemas a la normativa local de cada país, lo que constituye uno de sus principales factores de diferenciación y éxito. Esto se define con uno de los lemas del certificado: pensar global, actuar local. Actualmente ha certificado más de 600.000 edificios en 89 países, con una presencia destacada en Europa donde es el sistema más ampliamente implantado. En España supera ya los 1.200 edificios evaluados [\[+\]](#).

BREEAM particulariza los sistemas y criterios de evaluación y certificación de la sostenibilidad dependiendo de las distintas tipologías edificatorias y su uso, a fin de optimizar la evaluación del rendimiento de los distintos tipos de edificios y/o territorios. Así, los esquemas BREEAM disponibles en España son los siguientes:

- Urbanismo: para desarrollos a escala de barrio o mayores;
- Vivienda: aplicable a viviendas unifamiliares y viviendas en bloque tanto nuevas como rehabilitadas;
- Nueva construcción: aplicable a obra nueva y rehabilitación de edificios no residenciales (edificios de oficinas, industriales, comerciales, sanitarios, educativos, deportivos, culturales, hoteleros, recreativos, judiciales, etc.);
- A medida: permite evaluar edificios singulares no incluidos en nueva construcción y vivienda;
- En uso: para edificios existentes no residenciales.

2.2. Procedimiento de certificación

El método de certificación se basa en la otorgación de puntos (o créditos) según el grado de cumplimiento de los requisitos establecidos en cada una de las 10 categorías que se pueden llegar a evaluar:

- **Gestión (*management*):** fomenta la adopción de prácticas de construcción sostenible en relación al diseño, la construcción, la puesta en servicio y la entrega. Permite que se definan los criterios de sostenibilidad y se mantengan durante el funcionamiento del edificio.;
- **Salud y bienestar (*health and wellbeing*):** fomenta el aumento de la salud, el bienestar y la seguridad de los usuarios del edificio. Los requisitos premian el diseño del edificio y las decisiones aplicadas que permitan crear un entorno interno y externo saludable, cómodo y seguro;
- **Transporte (*transport*):** esta categoría fomenta el suministro y el acceso a los servicios locales y los medios de transporte sostenibles, es decir, el transporte público y otras soluciones alternativas para los usuarios del edificio. El objetivo es premiar ubicaciones y soluciones que respalden las reducciones de viajes en vehículo privado y, por lo tanto, la congestión y las emisiones de CO₂ durante la vida útil del edificio;
- **Agua (*water*):** fomenta el uso sostenible del agua durante el funcionamiento del edificio y su emplazamiento. Los requisitos de esta sección se centran en identificar los modos para reducir el consumo de agua potable tanto interna como externa durante la vida útil del edificio y minimizar las pérdidas de agua por fugas;
- **Energía (*energy*):** fomenta la especificación y el diseño de soluciones, sistemas y equipos energéticamente. Los requisitos de esta categoría evalúan medidas para mejorar la eficiencia energética inherente al edificio, reducir las emisiones de carbono y permitir una gestión eficiente durante el funcionamiento del edificio;
- **Residuos (*waste*):** fomenta la reducción de los residuos durante la construcción y durante toda la vida útil del edificio. Recompensa la gestión sostenible de los residuos, así como la generación de informes de residuos, reducción y desviación del vertedero durante la construcción, pero también fomenta las prácticas sostenibles durante el funcionamiento del edificio. Además, también fomenta la minimización de residuos a través de diseños

optimizados que consideran las necesidades actuales y futuras y responden a los requisitos funcionales y adaptación al cambio climático;

- **Uso ecológico del suelo (*land use and ecology*):** esta categoría promueve el uso sostenible del terreno, la protección y creación del hábitat, o la mejora de la biodiversidad a largo plazo de la parcela y del área circundante al edificio;
- **Contaminación (*pollution*):** aborda la prevención y el control de la contaminación y las aguas superficiales de escorrentías asociados a la ubicación y al uso del edificio. Los requisitos tienen como objetivo reducir el impacto del edificio en las comunidades y entornos circundantes derivados de la contaminación acústica, las inundaciones y las emisiones al aire, tierra y agua;
- **Materiales (*materials*):** fomenta decisiones que reducen el impacto ambiental y social de los productos de construcción empleados en un proyecto. Se emplea el análisis de ciclo de vida completo para los impactos en los productos, considerando la fabricación, el diseño, fabricación, aprovisionamiento, instalación, uso y fin de vida. Esta es la categoría con una influencia más directa por parte de los elementos prefabricados de hormigón, [tal y como veremos a continuación](#);
- **Innovación (*innovation*):** BREEAM pretende la consecución de niveles cada vez más altos de sostenibilidad ambiental, siendo la innovación una herramienta fundamental para ello. Además, la promoción de la innovación garantiza la implementación del principio de mejora continua, en términos tecnológicos y en términos de mercado.

Cada una de estas categorías contiene un número diferente de requisitos y una ponderación ambiental que refleja el nivel de importancia que tiene cada una de ellas. Las ponderaciones se emplean para determinar el valor relativo de cada una de las categorías de BREEAM y su contribución a la puntuación global.

Categoría	%
Gestión	11,50
Salud y Bienestar	14,00
Energía	18,00
Transporte	8,00
Agua	10,50
Materiales	12,00
Residuos	7,00
Uso de Suelo y Ecología	9,50
Contaminación	9,50
Innovación	10,00

Tabla.- Ponderaciones Ambientales Esquema Nueva Construcción

Para garantizar la flexibilidad, la mayoría de los requisitos son opcionales. Sin embargo, para evitar que, en la consecución de una clasificación específica, se ignore el comportamiento relativo a “Requisitos de sostenibilidad clave”, BREEAM establece en función del esquema de certificación una serie de requisitos mínimos en aquellas áreas que considera fundamentales (por ejemplo, energía, agua y residuos) para la obtención de una clasificación determinada.

Los esquemas BREEAM permiten evaluar y clasificar el impacto ambiental de las edificaciones en dos fases:

- Fase de diseño: que evalúa una etapa muy temprana del proyecto e influye en las directrices que van a guiar al proyecto y con la se conseguiría el certificado provisional;
- Y fase de revisión o postconstrucción: fase final tras la construcción del edificio para asegurarnos que se han implementado todas las medidas según los especificado y con la que se conseguiría el certificado final.

En el caso de BREEAM En Uso es diferente ya que permite la evaluación del edificio desde el punto de vista estructural (Parte 1) y de su Gestión (Parte 2), pudiendo el promotor o gestor del inmueble elegir si opta a la certificación de ambas partes o de solo una de ellas. Además estos certificados tienen una vigencia de tres años.

El primer paso, una vez tomada la decisión de certificar el edificio, es elegir por parte del Cliente un Asesor que esté capacitado por BREEAM ES para realizar la evaluación en la tipología deseada.

El Asesor deberá recopilar todas las evidencias para la fase de diseño según se indica en el manual técnico correspondiente y redactar el informe de evaluación. Toda la documentación se envía a BREEAM España y pasa por un proceso de garantía de calidad, verificando las justificaciones y evidencias. Superado este proceso BREEAM España otorga un Certificado provisional. Los mismos pasos se necesitan para conseguir la certificación final en fase de postconstrucción, con la salvedad de que las evidencias necesarias para la justificación de los Requisitos son evidencias que muestran la realidad construida.

Se estima que un 99% de los procesos iniciados para la certificación BREEAM finalizan con éxito.

La clasificación final se obtiene a partir de la suma de las puntuaciones parciales de todos los requisitos evaluados, con lo que el edificio quedará clasificado en uno de los cinco niveles o estrellas establecidos:

- Correcto (*): 30 hasta 45%
- Bueno (**): 45-55%

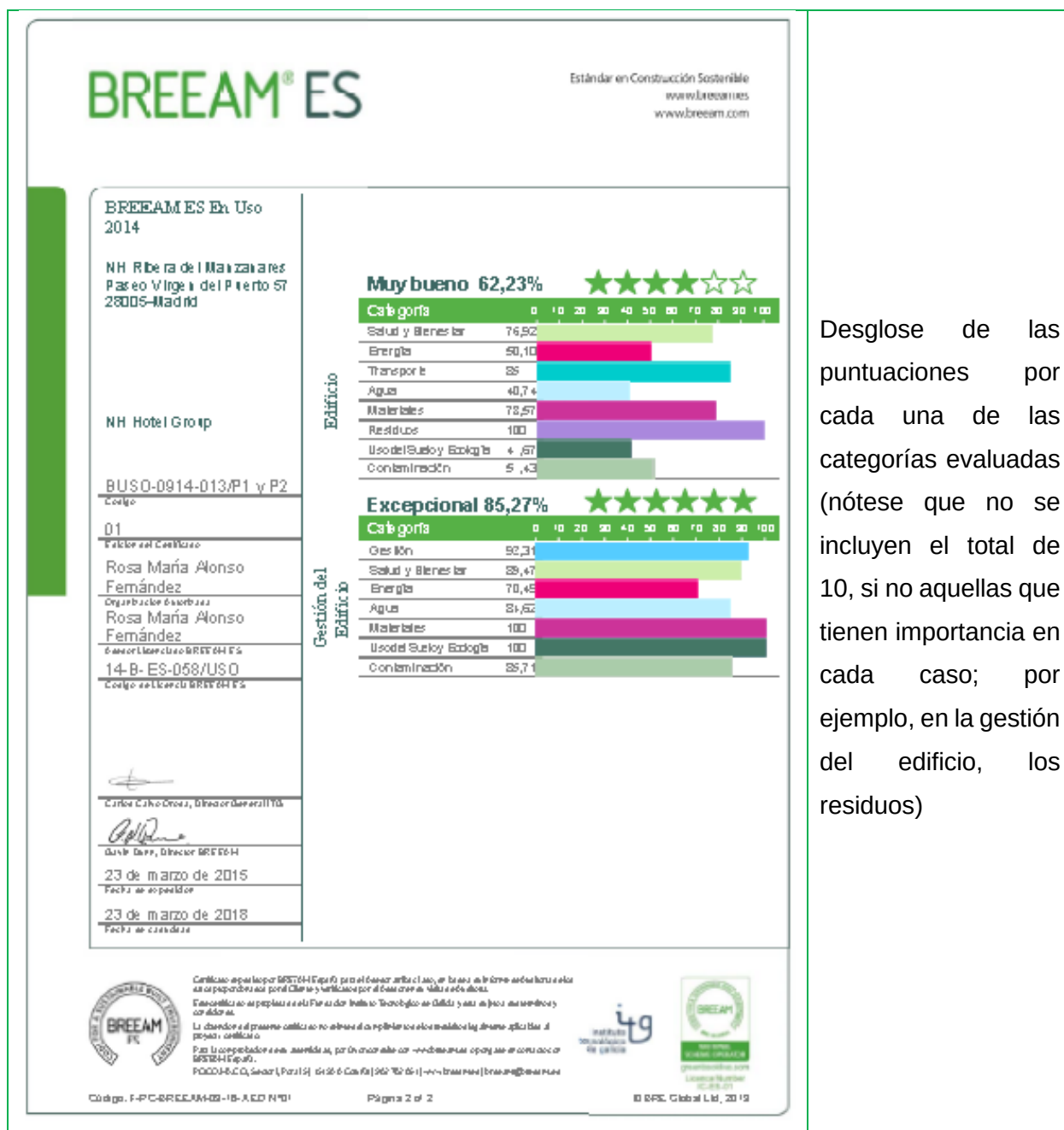
- Muy bueno (***): 55-70%
- Excelente (****): 70-85%
- Excepcional (*****): 85-100%

El esquema BREEAM en Uso tiene un nivel más de clasificación o estrellas:

- Aprobado (*): >10 %
- Correcto (**): >25%
- Bueno (***): >40%
- Muy bueno (****): >55%
- Excelente (*****): >70%
- Excepcional (*****): >85%

 BREEAM® ES Estándar en Construcción Sostenible www.breem.es www.breem.com BREEAM ES En-Use Este documento certifica que: NH Ribera del Manzanares Paseo Virgen del Puerto 57 28005-Madrid ha sido evaluado según: BREEAM ES En-Use 2014 por el Asesor Licenciado para: NH Hotel Group Código: BUSO-0914-013/P1 y P2 Edición de Certificado: 01 Edificio (Parte 1): 62,23% Muy bueno ★★★★☆ Gestión del edificio (Parte 2): 85,27% Excepcional ★★★★★ Rosa María Alonso Fernández Organizador del edificio Rosa María Alonso Fernández Asesor Licenciado BREEAM ES 14-B-ES-058/USO Código Licencia BREEAM ES Carlos Calvo Orca, Director General ITIYA 23 de marzo de 2015 Fecha de expedición 23 de marzo de 2018 Fecha de conclusión Código: F-P-C-BREEAM-09-15-AED IN 01 Página 1 of 2 ID BREEAM Global Ltd, 2015	Datos cliente (peticionario): NH Hotel Group Se han evaluado dos aspectos: la construcción del edificio, con una calificación de muy bueno (62,23% del total de puntos) y la gestión del edificio, resultando una categoría de excepcional (85,27%). Nombre del/a asesor/a BREEAM Fecha de emisión y vigencia por 3 años del certificado
--	--

Figura.- Datos más relevantes de la primera página de un certificado BREEAM (ejemplo)



Desglose de las puntuaciones por cada una de las categorías evaluadas (nótese que no se incluyen el total de 10, si no aquellas que tienen importancia en cada caso; por ejemplo, en la gestión del edificio, los residuos)

Figura.- Datos más relevantes de la segunda página de un certificado BREEAM (ejemplo)

2.3. Potencial de los elementos prefabricados de hormigón en BREEAM

Los elementos prefabricados de hormigón, como materiales/productos de construcción que son, quedan directamente agrupados dentro de las consideraciones que el sistema BREEAM considera como relevantes en la categoría específica para los materiales, aunque sus

especificaciones se tratan de forma indirecta en otras categorías como gestión, energía, salud y bienestar, contaminación y residuos.

En la categoría "Materiales" de los esquemas de certificación Nueva Construcción y vivienda 2020, los requisitos son los siguientes:

- MAT 1: el objetivo es reconocer e impulsar el uso de herramientas robustas y adecuadas para el análisis del ciclo de vida y, por consiguiente, la especificación de materiales de construcción con un bajo impacto ambiental a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio. para ello, se valora la realización de un análisis del ciclo de vida del edificio y en menor medida la utilización de productos y materiales que dispongan de declaraciones ambientales (DAP);

NOTA: En un proyecto pueden confluir cientos o miles de productos de construcción y orígenes distintos, con una importancia relativa mayor o menor con respecto a la obra en su conjunto. La exigencia de cumplir con determinados requisitos como la tenencia de una DAP, no implica que todos los proveedores de materiales deban disponer de ella. Cada sistema de certificación establece una forma de evaluar requisitos como éstos, de forma que un determinado porcentaje de productos de la obra deban disponer de una DAP u otras exigencias. Desde el punto de vista del proveedor o fabricante, la tenencia de una DAP podrá servir como elemento diferenciador con respecto a otro que no la tenga para acceder a obras que se certifiquen bajo estos sistemas de sostenibilidad.

Declaraciones ambientales de productos prefabricados de hormigón

En un proyecto pueden confluir cientos o miles de productos de construcción y orígenes distintos, con una importancia relativa mayor o menor con respecto a la obra en su conjunto. La exigencia de cumplir con determinados requisitos como la tenencia de una DAP, no implica que todos los proveedores de materiales deban disponer de ella. Cada sistema de certificación establece una forma de evaluar requisitos como éstos, de forma que un determinado porcentaje de productos de la obra deban disponer de una DAP u otras exigencias. Desde el punto de vista del proveedor o fabricante, la tenencia de una DAP podrá servir como elemento diferenciador con respecto a otro que no la tenga para acceder a obras que se certifiquen bajo estos sistemas de sostenibilidad.

ANDECE ha desarrollado las siguientes autodeclaraciones ambientales sectoriales de productos prefabricados de hormigón, con la participación de más de 50 empresas asociadas:



A-DAP Estructuras

Vigas y pilares para edificios y para puentes, pórticos, vigas y correas de cubierta, cimentaciones



A-DAP Forjados

Placas alveolares, viguetas, prelosas, elementos nervados y losas macizas



A-DAP Fachadas Hormigón Armado

Paneles de hormigón armado con acero



A-DAP Fachadas GRC

Paneles de hormigón armado con fibra de vidrio

	A-DAP Canales	Tubos, pozos de registro y arquetas, marcos, dovelas y bóvedas, tubos armados, con camisa de chapa y tubos pretensados
	A-DAP Elementos huecos	Bloques, ladrillos, bovedillas y casetones
	A-DAP Pavimentos	Adoquines, baldosas, terrazo y bordillos

- MAT 3 – Aprovechamiento responsable de materiales: se valora que los productos y materiales empleados en la construcción del edificio hayan sido adquiridos de forma responsable. Para poder demostrarlo, deberán disponer de un sistema de certificación que cubra su proceso clave y/o proceso de cadena de suministro. Esto podría ser el caso de que la empresa disponga de un sistema de gestión ambiental conforme a la norma internacional ISO 14001, EMAS o similar;
- MAT 5 - Diseño para la durabilidad y la resiliencia: este crédito reconoce la protección adecuada de los elementos expuestos del edificio y de la urbanización, de forma que minimice la frecuencia de reposición optimizando así el uso de materiales.

Durabilidad de los productos prefabricados de hormigón

De todas las características que debe tener un material o un sistema constructivo, probablemente la durabilidad suponga la más importante en un enfoque sostenible. Un material, por muy baja carga ambiental tenga en su origen, si no es durable no puede ser sostenible.

La durabilidad de los elementos prefabricados de hormigón, especialmente aquellos con fines estructurales, es una de sus características más reconocidas. El hecho de ser fabricado en un entorno protegido de las condiciones ambientales adversas y que sea resultado de un proceso industrial bajo un sistema de control de producción en fábrica, permite asegurar una vida útil superior a la establecida reglamentariamente (50 ó 100 años). De esta forma, la posible generación de residuos y/o necesidad de extraer nuevos recursos con que producir nuevos elementos destinados a nuevas construcciones se amortizan en un periodo de tiempo más largo.

La durabilidad del hormigón: enfoque de diferentes normativas	IECA	https://youtu.be/89dHfS0mmiw
Durabilidad en ambientes agresivos: recomendaciones y ejemplos de ejecución	LAFARGEHOLCIM	https://youtu.be/pH8Ui1kO5X0
Uso de sensores en prefabricados de hormigón: monitorización de estructuras	INSTITUTO EDUARDO TORROJA CSIC	https://youtu.be/oPQ0x1g7y_s

Tabla.- Vídeos del webinar de ANDECE sobre durabilidad de los elementos prefabricados de hormigón

- MAT 6 – Eficiencia de materiales: se valora el uso de materiales locales, la reutilización de materiales, el uso de materiales con alto contenido reciclado, el uso de materiales duraderos, etc.

Eficiencia de materiales

Por norma general, las estructuras prefabricadas de hormigón se optimizan mejor en el diseño de las secciones, resultando una mejor relación global entre materiales consumidos y prestaciones finales

Otro aspecto que juega a favor de los elementos prefabricados es que suelen prescribir mejores hormigones para la obtención de mayores resistencias a edades tempranas para poder desmoldar y/o destesar, resultando a su vez secciones más optimizadas.

Asimismo, la característica diferenciadora de los elementos prefabricados cuyo mayor uso de la técnica del pretensado es evidente, hace que se mejore la carga medioambiental, en la medida que se economiza la relación entre prestaciones del producto y sección geométrica.

La economía circular se debe afrontar fundamentalmente “atacando” alguna de las cuatro vías siguientes: la reutilización, la reparación, la refabricación y el reciclaje, y aquí nuevamente los elementos prefabricados de hormigón ofrecen una serie de características de partida para satisfacer los requisitos que se derivan en este sentido.

Plan europeo de economía circular y su relación con los prefabricados de hormigón	ABALEO	https://youtu.be/loPaAGyCjGk
Proyecto VEEP: Reciclado rentable de RCDs para su utilización en componentes prefabricados de hormigón de alto valor añadido y energéticamente eficientes	ACCIONA	https://youtu.be/yjiqzHEEnEiU

Tabla.- Vídeos del webinar de ANDECE sobre economía circular de los elementos prefabricados de hormigón

Es importante señalar otros aspectos que trascienden a la elección de un determinado material, que están relacionados con una adecuada gestión durante la obra y con la fase de operación del edificio:

- Residuos:
 - Gestión de residuos en obra (RSD 1), que se facilita con un mayor grado de industrialización por la menor generación de residuos;

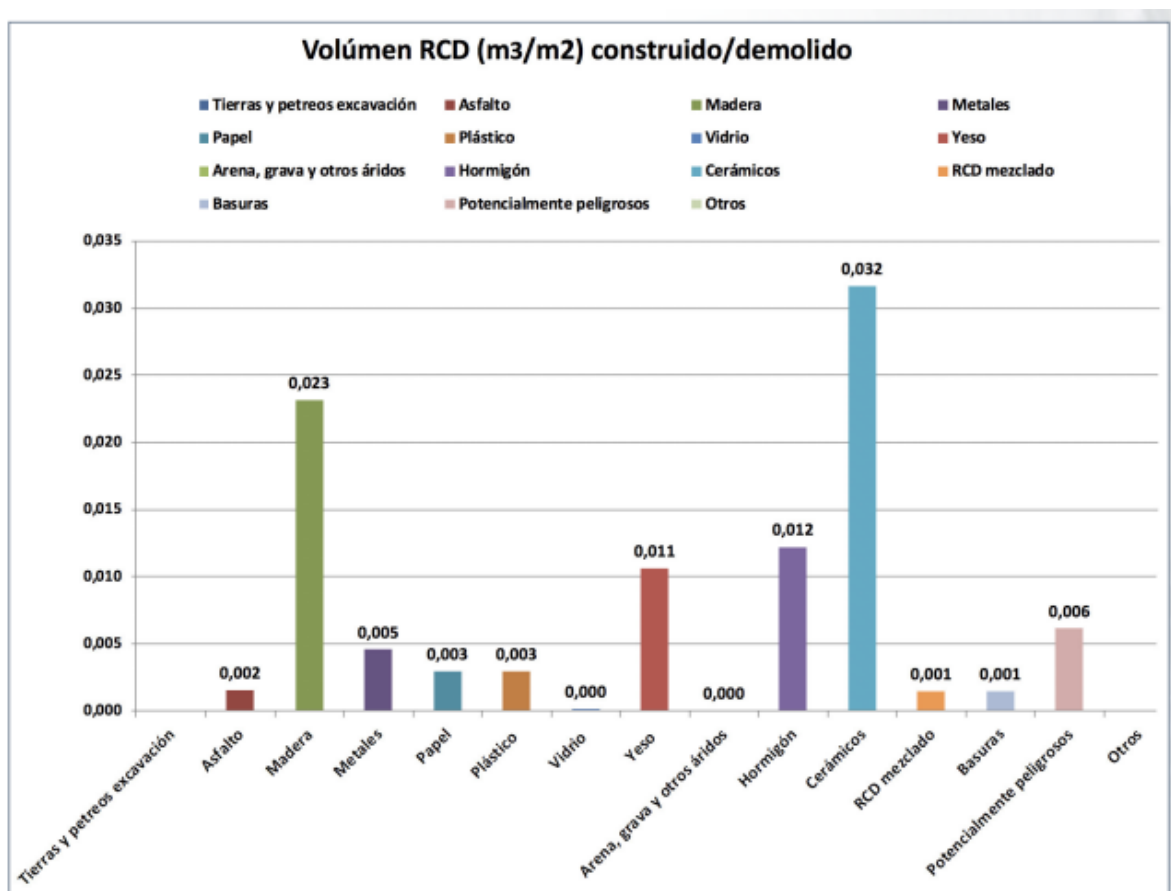


Figura.- Ratios nacionales de generación de residuos de construcción y demolición. Fuente: CGATE - CSCAE. 2020 [4]

- Resiliencia (RSD 5): se valoran características propias del hormigón como la resistencia al fuego o su mayor resiliencia ante acciones accidentales como explosiones o terremotos [4].
- Salud y bienestar:
 - Calidad del aire interior (SYB 2): incentiva el empleo de materiales de bajo contenido de compuestos orgánicos volátiles (COVS), como es el caso del hormigón;

Emisión de compuestos orgánicos volátiles de los productos prefabricados de hormigón

Las principales fuentes de emisión de productos químicos en el aire son generadas por productos utilizados en entornos de interior, incluyendo mobiliario, materiales de construcción y otros productos de oficina, que pueden emitir miles de compuestos orgánicos volátiles (COV) que a la larga afectan a nuestra salud y que conscientemente no percibimos. El hormigón es un material inerte y de los materiales de construcción con una emisión más baja de COV's.



- Confort térmico (SYB 4): la inercia térmica permite una estabilización mayor de la temperatura de los espacios interiores del edificio;

La inercia térmica vs confort térmico

La combinación de una capa de aislamiento térmico con materiales de construcción masivos (inercia térmica) optimiza las necesidades energéticas, reduce la transmisión de ruido aéreo, atenúa la exposición a campos magnéticos y radón y se ocupa de compensar una posible oscilación de temperaturas interiores debido a la diferencia de temperaturas exteriores a lo largo del día. Según el aspecto de la inercia térmica es preferible optar por soluciones constructivas como el hormigón armado y las fábricas de piezas cerámicas (en verano varían hasta 4°C) frente al entramado ligero (en verano pueden variar hasta 8°C).



Figura.- La inercia térmica es independiente del valor de la transmitancia térmica del cerramiento. Fuente: Reto Kommerling [4]

- Confort acústico (SYB 5): el hormigón es un material masivo y, por tanto, ofrece un excelente grado de protección a la transmisión al ruido aéreo entre locales del edificio y entre estos y el exterior;
- Energía: reducción de emisiones (ENE 1): la **inercia térmica** contribuye a un menor consumo de energía y con ello unas menores emisiones asociadas.

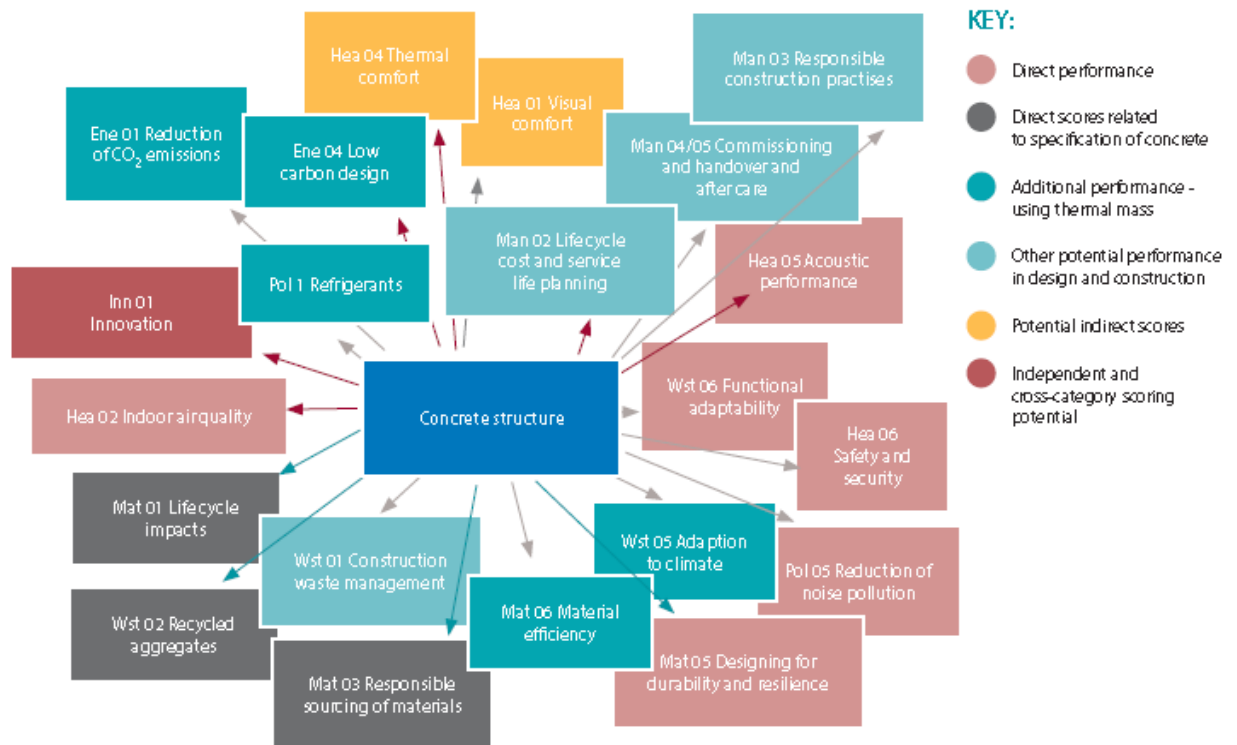


Figura.- Apartados potenciales en que los elementos de hormigón prefabricado pueden obtener créditos BREEAM. Fuente British Precast Concrete Association

Accede a la versión BREEAM [\[+\]](#)

3. LEED

3.1. Presentación general

LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*) se ha posicionado como el otro gran sistema de certificación sostenible en el mundo. Fue creado en 1998 por el *U.S. Green Building Council* (USGBC) y ha sido utilizado en más de 78.000 proyectos comerciales y cerca de 100.000 unidades residenciales en más de 160 países, por lo que es el sistema más extendido a nivel mundial.

El proceso de certificación LEED lo realiza el USGBC que delega sus funciones certificadoras en las entidades nacionales con las que tiene un acuerdo vinculante.

El sistema LEED sigue teniendo una fuerte vinculación con la reglamentación americana. Sin embargo, fruto de su expansión internacional ha conllevado una creciente adaptación a las exigencias de muchos países del mundo. Para llevarlo a cabo, LEED suele tener acuerdos contractuales con determinados organismos nacionales quienes se encargan de la gestión y adaptan el sistema a las particularidades en tales países.

3.2. Procedimiento de certificación

El proceso exige una extensa recopilación de información sobre el proyecto, un riguroso análisis de los condicionantes de diseño y la solución implantada, así como la realización de cálculos, simulaciones y otras medidas justificativas a presentar.

Dependiendo del uso del edificio, entrará dentro de un sistema de certificación u otro:

- Nueva construcción;
- Núcleo y envolvente (es posible certificar edificios que se dejarán vacíos para que un futuro ocupante termine los acabados interiores);
- Educativo;
- Superficies comerciales;
- Centros de datos;
- Logística (almacenes y centros de distribución);

- Hospedaje;
- Salud.

La metodología LEED permite la realización del proceso de certificación de modo combinado que consiste en una única entrega al final de la fase de construcción o bien separándolo en 2 fases, como sigue:

- Fase de diseño: se establecen los criterios a adoptar en el proyecto y las consideraciones en el diseño a seguir. LEED considera que la documentación y estrategias seguidas en el diseño del proyecto hasta su comienzo en obra permite justificar adecuadamente ciertos créditos los cuales pueden ser entregados para revisión por el evaluador en esta primera fase. El evaluador anticipa, deja pendientes de clarificación, o bien deniega las estrategias consideradas en el diseño para la consecución de estos créditos. El equipo de diseño puede entonces realizar las modificaciones u objeciones oportunas a los comentarios del evaluador para solventar las posibles deficiencias en la documentación;
- Fase de construcción: se comprueba que lo establecido en el diseño se lleva a cabo en la fase de ejecución para aquellos créditos que se hayan entregado en la fase de diseño y se aporta justificación de los restantes créditos objetivo del proyecto. Para completar con éxito el proceso de certificación LEED, es crítico designar un Consultor LEED responsable de asesorar y vigilar el cumplimiento de los diferentes créditos y pre-requisitos, preferentemente desde la fase conceptual del proyecto, así como de recopilar la información, completar las plantillas, realizar cálculos o simulaciones específicas, etc.

Igual que sucede con BREEAM u otros sistemas de certificación sostenible, el método de certificación se basa en la consecución de puntos o créditos según se cumpla con unos determinados requisitos dispuestos en 6 categorías principales y 2 categorías adicionales:

- Localización y transporte (hasta 16 puntos): entre cuyos objetivos están aumentar la habitabilidad y mejorar la salud humana favoreciendo la actividad física diaria, Evitar desarrollos en suelos sensibles ambientalmente y reducir el impacto ambiental debido a la localización de un edificio en una parcela, etc.;

- Parcela sostenible (hasta 10 puntos): la elección de la parcela y la gestión del mismo durante la construcción son consideraciones importantes para la sustentabilidad de un proyecto. Como parte de este tema, LEED desalienta el desarrollo en zonas que se encuentran en sus condiciones naturales; busca minimizar el impacto de los edificios en los ecosistemas y cuencas; promueve los proyectos de paisaje con especies nativas y adaptadas a la región; premia las opciones de transporte público, el control de escorrentía de aguas pluviales, así como los esfuerzos por reducir la erosión del suelo, la contaminación lumínica y el efecto de isla de calor;
- Eficiencia en consumo de agua (hasta 11/12 puntos): el objetivo de esta categoría es fomentar el uso racional del agua dentro y fuera del edificio. La reducción en el consumo de agua se logra comúnmente mediante muebles y grifos eficientes y sistemas de tratamiento y reutilización de aguas residuales, así como áreas verdes con bajas necesidades de riego y la captación de agua pluvial;
- Energía y atmósfera (hasta 31/33 puntos): promueve el uso de una amplia variedad de estrategias energéticas que van desde la medición y verificación, monitoreo y control, así como elementos de diseño y construcción enfocados a la disminución del consumo energético. Uso de iluminación natural, fuentes de energía renovable y limpia ya sea generada en el sitio o fuera del sitio. Además, reconoce el manejo apropiado de refrigerantes y otras sustancias con potencial de efecto invernadero o daño a la capa de ozono. Igual que sucede con BREEAM, el tema más importante para los dos sellos sostenibles es la eficiencia energética;
- Materiales y recursos (hasta 13/14 puntos): tanto durante su construcción como en operación los edificios generan una gran cantidad de residuos y demandan una gran cantidad de materiales y recursos naturales. Esta categoría fomenta la selección de 7 productos y materiales producidos, cosechados, fabricados y transportados de forma sostenible. Asimismo, premia la reducción de residuos, así como la reutilización y el reciclaje;
- Calidad ambiental en interiores (hasta 10/16 puntos): alienta la implementación de estrategias que mejoran la calidad del aire, así como el acceso a iluminación natural, vistas al exterior y mejoras en la acústica. El objetivo es crear espacios confortables y saludables que permitan ser más productivos a sus habitantes;

- Innovaciones en el diseño (6 puntos): otorga puntos a proyectos que demuestran el uso de estrategias y tecnologías innovadoras y que mejoran el desempeño del edificio más allá de lo requerido en alguno de los créditos establecidos;
- Prioridad regional (4 puntos): en este capítulo LEED reconoce a los proyectos que atienden de manera especial la problemática ambiental de la zona en donde se encuentran.

A su vez, cada una de estas categorías se desglosa en una serie de requisitos más específicos cuyas puntuaciones oscilarán dependiendo del tipo de edificio a evaluar. Igual que en el caso de BREEAM, los requerimientos obligatorios (llamados pre-requisitos) se plantean al principio de cada categoría, exigiendo su cumplimiento para seguir adelante con el proceso, dejando de lado la puntuación que se quiere obtener y sin posibilidad de sustituirlos.

Existe una base de 100 puntos que se reparten entre las 6 categorías principales, además de 10 puntos extra en las dos categorías adicionales, pudiendo sumar hasta un máximo de 110 puntos. El número de puntos obtenidos por el proyecto determina el nivel de certificación LEED que el proyecto recibirá:

- LEED Certificado (40-49 puntos);
- LEED Plata (50-59 puntos);
- LEED Oro (60-79 puntos);
- LEED Platino (80 o más puntos).

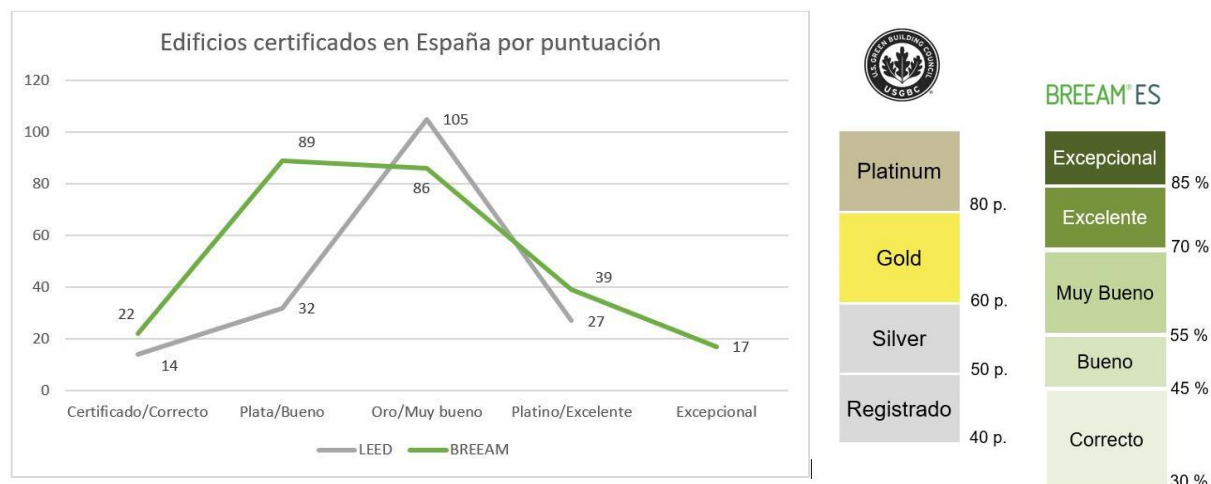


Figura.- ¿LEED, BREEAM u otro? Muchas veces los promotores de edificios dudan entre las certificaciones ya que tienen unas características similares. La mejor opción dependerá de las particularidades del edificio a certificar y de los intereses del promotor. Lo más apropiado es que una consultoría con experiencia en este tipo de certificaciones efectúe una pre-evaluación del edificio bajo los sistemas, y así poder determinar cuál es el más ventajoso para el caso en particular

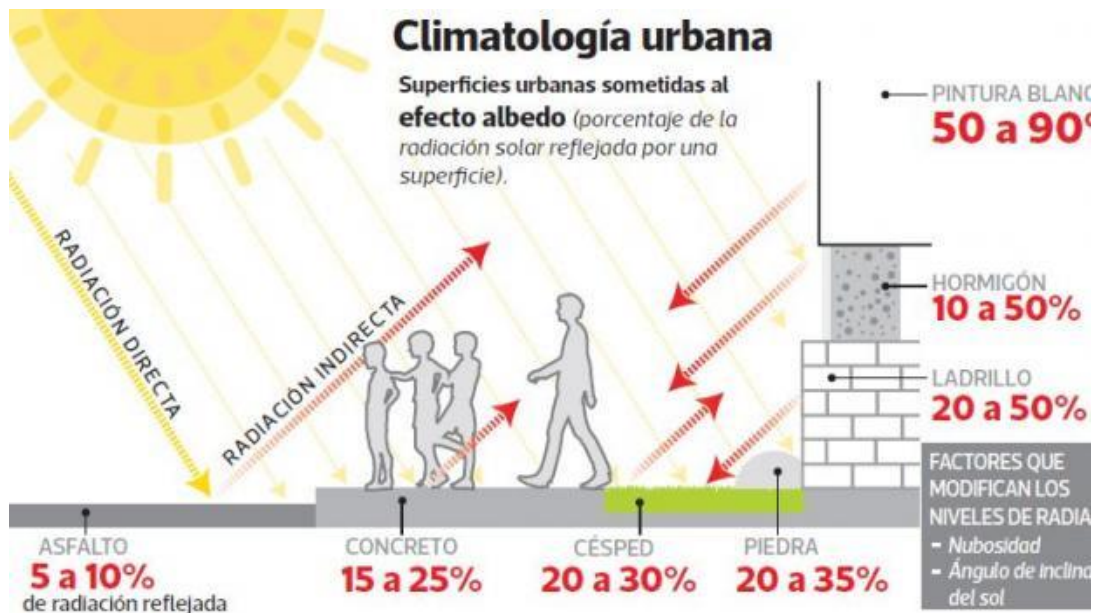
3.3. Potencial de los elementos prefabricados de hormigón en LEED

El sistema LEED incentiva sobre todo la aplicación de determinadas medidas de diseño, más que el empleo de unos materiales de construcción u otros. Sin embargo, el uso de elementos prefabricados de hormigón puede conllevar la obtención, ya sea de forma directa o indirecta, de hasta 20 créditos de los 110 totales.

Categoría LEED	Crédito	Propósito	Puntos potenciales
Parcela sostenible	Reducción de las islas de calor - sin tejados	Minimizar los efectos en los microclimas, el hábitat humano y de la vida salvaje reduciendo las islas de calor	1

Efecto isla de calor

Los prefabricados de hormigón proporcionan superficies reflectantes que minimizan el efecto “Isla de calor”, que ocasiona en ciudades y áreas urbanas una subida de temperaturas de 2 a 4° C más que en los alrededores. Las “Islas de calor” se atribuyen principalmente a las superficies horizontales, como son cubiertas y pavimentos, que absorben la radiación solar. Para justificar este criterio, el fabricante debe presentar el Índice de reflectancia solar (SRI) del producto. Este índice se calcula a partir de la reflectancia solar (SR) y el grado de emisividad térmica (ϵ) y constituye una medida del calentamiento relativo de los materiales teniendo en cuenta la radiación solar absorbida y el calor irradiado al exterior.



Unas superficies pavimentadas más frías también hacen aumentar el confort del microclima en verano. Con una correcta elección de materiales y de sus tonalidades se consigue minimizar los efectos en los microclimas y en los hábitats de vida humana y silvestre mediante la reducción de las islas de calor. En comparación con el asfalto, los pavimentos prefabricados de hormigón y especialmente cuanto más sean de tonos claros, mediante la evaporación-transpiración reducen la temperatura del aire de la superficie entre 1 y 2 grados centígrados. Para ello, se designan una serie de medidas a considerar en el proyecto. De estas medidas, las que incide en la elección cromática de los pavimentos establece que se deben utilizar materiales de pavimentación con un valor inicial de reflectancia solar (SR) de al menos 0,33.



Figura.- Proceso de ensayo para determinación de SRI. Fuente [\[+\]](#)

Categoría LEED	Crédito	Propósito	Puntos potenciales
Energía y atmósfera	Optimizar el comportamiento energético	Conseguir un incremento de los niveles de eficiencia energética más allá de los estándares del prerrequisito para reducir los daños económicos y ambientales asociados con un consumo excesivo de energía.	1 – 19

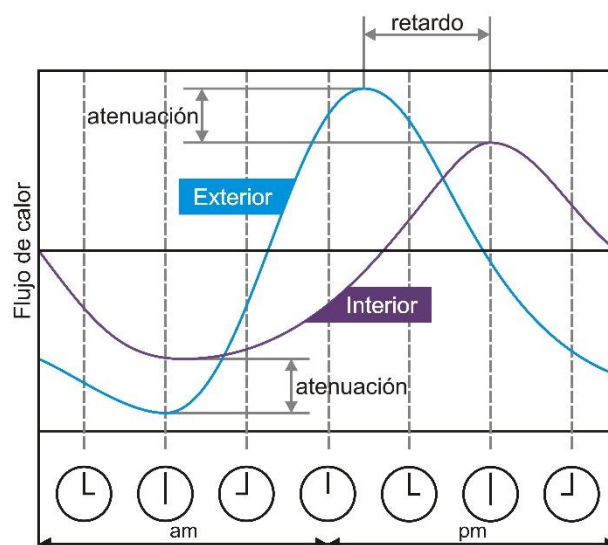
Uso de la inercia térmica para mejorar la eficiencia energética del edificio

La inercia térmica es la capacidad que tiene la masa de conservar la energía térmica recibida e ir liberándola progresivamente. Debido a esta capacidad, teniendo en cuenta la inercia térmica de los cerramientos, suelos o forjados de un edificio, puede disminuirse la necesidad de climatización, con la consecuente reducción de consumo energético y de emisiones contaminantes.

La inercia térmica se puede aprovechar de manera pasiva simplemente activándola a través de un diseño adecuado, activándola mediante ventilación mecánica, mediante la circulación de agua (u otro fluido térmico) por su interior o utilizando incluso la misma inercia térmica como sistema de almacenamiento de energía.

Aunque no guarda una relación estrictamente directa, si se puede afirmar que depende de la densidad del material ($\uparrow$), de su calor específico ($\uparrow$) y es inversa a su conductividad térmica ($\downarrow$). La masa térmica es un efecto natural, pasivo e inherente que cobra especial importancia en materiales pesados como el hormigón.

Existen diversas referencias en cuanto a cuál es la contribución que se puede obtener a partir de un uso preciso de la masa térmica en construcciones basadas en hormigón, lo cual depende de la influencia de otras variables como el tipo de edificio (alturas, configuración espacial), la orientación, la localización (zona climática), el grado de ocupación, etc. De todos ellos, se puede deducir que la mayor contribución al ahorro energético en los edificios de alta inercia térmica se suele producir en los meses más cálidos pudiendo alcanzar unos ahorros estimados en refrigeración de hasta un 20% y un 5% en calefacción.



La inercia térmica del hormigón en el nuevo CTE	PTEH	https://youtu.be/lHXS9lLicyE
Sistemas de conexión para paneles prefabricados con aislamiento térmico incorporado	RECENSE	https://youtu.be/12FkVVxTmoM
CHRYSOFlexo, sistema de conexión para paneles con rotura de puente térmico	CHRYSO	https://youtu.be/BnpKGtaFcbs

Tabla.- Vídeos del webinar de ANDECE sobre eficiencia energética de los elementos prefabricados de hormigón

Categoría LEED	Crédito	Propósito	Puntos potenciales
Materiales y recursos	Declaraciones ambientales de producto	Favorecer el uso de productos y materiales para los cuales haya información disponible sobre el ciclo de vida y que tengan impactos preferibles ambiental, económica y socialmente en el ciclo de vida.	1 – 2

Solicitar a los equipos de proyecto que seleccionen productos de fabricantes que hayan verificado impactos medioambientales mejorados en el ciclo de vida. Quizás este sea uno de los puntos más interesantes para las empresas de prefabricados de hormigón. La certificación LEED valora este requisito de la forma siguiente:

- Opción 1. Declaración Ambiental de Producto (DAP) (1/2 punto)

Usar al menos 20 productos permanentemente instalados procedentes de al menos cinco fabricantes diferentes que cumplan uno de los criterios de revelación siguientes:

- Declaración de especificaciones del producto: los productos con una valoración del ciclo de vida disponible públicamente y revisada críticamente de acuerdo con la norma ISO 14044 que tenga al menos un alcance desde la “cuna hasta la puerta” se valoran como un cuarto (1/4) de un producto para los propósitos de cálculo de logro del crédito.

- Declaraciones Ambientales de Producto que se adecuen a alguna de las normas ISO 14025, 14040, 14044 y/o EN 15804 o ISO 21930 y tengan al menos un alcance desde la “cuna a la puerta”:
 - DAP (genéricos/sectoriales) de toda la industria: los productos con una certificación por tercera parte (Tipo III), incluyendo una verificación externa, en la cual el fabricante es explícitamente reconocido como participante por el operador del programa, se valoran como la mitad de un producto (1/2) para los propósitos del cálculo del logro del crédito.
 - DAP Tipo III específica de un producto: los productos con una certificación por tercera parte (Tipo III), incluyendo una verificación externa en la cual el fabricante es explícitamente reconocido como participante por el operador del programa, se valoran como un producto completo para los propósitos de cálculo del logro del crédito.

■ Opción 2. Optimización de características (1 punto)

Usar productos que cumplan uno de los criterios que figuran a continuación para el 50%, por coste, del valor total de los productos permanentemente instalados en el edificio. Los productos se valorarán como sigue:

- Los productos certificados por tercera parte que demuestren una reducción del impacto por debajo de la media de la industria (DAP sectoriales) en al menos tres de las siguientes categorías se valoran al 100% (potencial de calentamiento global, disminución de la capa de ozono de la estratosfera, acidificación de la tierra y las fuentes de agua, eutrofización, formación de ozono troposférico y disminución de recursos energéticos no renovables) de su coste para los cálculos del logro del crédito.

Para el cálculo del logro del crédito, los productos cuya fuente (extraídos, fabricados, comprados) está en un radio de 100 millas (aproximadamente 160 km) de la parcela del edificio se valoran el doble. Los materiales de la estructura y el cerramiento no pueden constituir más del 30% del valor de los productos cumplidores del edificio.

Categoría LEED	Crédito	Propósito	Puntos potenciales
Materiales y recursos	Reducción del impacto del ciclo de vida del edificio	Realizar un ACV de materiales del cerramiento y estructura del proyecto, que demuestre, al menos una reducción del 10% comparada con un edificio de referencia, en al menos tres de los seis impactos.	1 – 6

Debe ser en al menos tres de los seis impactos (potencial de calentamiento global, disminución de la capa de ozono de la estratosfera, acidificación de la tierra y las fuentes de agua, eutrofización, formación de ozono troposférico y disminución de recursos energéticos no renovables), una de las cuales debe de ser el potencial de Calentamiento global. Ninguna categoría de impacto evaluada dentro del ACV, puede incrementarse más de un 5% comparada con el edificio de referencia. Los edificios y diseños de referencia han de ser de un tamaño, función orientación y análisis de rendimiento energético similares, tal y como se definen en el prerrequisito de Rendimiento Mínimo de energía. Necesario utilizar las mismas herramientas de análisis para evaluar ambos. Han de cumplir con ISO 14044.

Categoría LEED	Crédito	Propósito	Puntos potenciales
Materiales y recursos	Fuentes de materias primas	Favorecer el uso de productos y materiales para los cuales haya información disponible sobre el ciclo de vida y que tengan impactos en el ciclo de vida preferibles ambiental, económica y socialmente.	1 – 2

Este crédito reconoce el uso de productos que cumplan al menos uno de seis criterios indicados relacionados con la extracción responsable de sus materias primas. En el caso de los productos prefabricados de hormigón, se acentúa la posibilidad de fabricar elementos a partir de áridos

reciclados, o de sustituir el contenido de cemento por adiciones mucho más respetuosas desde el punto de vista medioambiental.

Categoría LEED	Crédito	Propósito	Puntos potenciales
Materiales y recursos	Diseño para flexibilidad	Conservar los recursos asociados con la construcción y la gestión de edificios diseñándolos para obtener flexibilidad y facilidad en futuras adaptaciones y para la vida en servicio de los componentes y montajes.	1 (sólo Salud)

El diseño mediante soluciones industrializadas de hormigón prefabricado permite la posibilidad de modificar y adecuar los espacios interiores según las necesidades futuras y cambiantes de estos edificios.

Categoría LEED	Crédito	Propósito	Puntos potenciales
Materiales y recursos	<u>Gestión de residuos de construcción y demolición</u>	Reducir los residuos de construcción y demolición depositados en vertederos e incineradoras a través de la recuperación, reutilización y reciclaje de materiales.	1 – 2

Para cumplir este requisito, una de las opciones es que no se generen más de 12,2 kg de residuos por metro cuadrado de superficie bruta construida del edificio. Una de las grandes ventajas que ofrece la construcción industrializada con elementos prefabricados de hormigón es la (casi) nula generación de residuos en obra, por lo que el cumplimiento de este requisito está prácticamente asegurado si un gran número de elementos constructivos se llevan a cabo mediante prefabricados.

Categoría LEED	Crédito	Propósito	Puntos potenciales
Calidad ambiental en interiores	<u>Materiales de baja emisión</u>	Reducir las concentraciones de contaminantes químicos que pueden perjudicar la calidad del aire, la salud humana, la productividad y el medioambiente.	1 – 3



Figura 1.- Edificio LUCIA de la Universidad de Valladolid (España). Premio ENERAGEN 2015 por su alta eficiencia energética y certificado LEED platino, gracias en buena parte al cerramiento pesado de paneles de hormigón prefabricado



Figura 2.- Nuevo Estadio San Mamés en Bilbao (España). Primer estadio de fútbol europeo con certificación LEED (2013). Cabe destacar la gran importancia de los elementos prefabricados de hormigón: graderíos y prelosas de forjados

Accede a la versión LEED V.4 para diseño y construcción de edificios [\[+\]](#)

4. VERDE

4.1. Presentación general

VERDE es un sello de edificación sostenible desarrollado por el *Green Building Council* de España (GBCe) que lleva en funcionamiento desde 2010 y está adaptado a la reglamentación española (véase el Código Técnico de la Edificación) y alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Cuenta con varios esquemas de evaluación: edificios (de nueva construcción o rehabilitación), diferenciando entre residencial privado y otros usos distintos; y otro esquema para polígonos industriales.

4.2. Procedimiento de certificación

El funcionamiento es similar a otros sistemas de evaluación. Por ejemplo, la versión VERDE edificios presenta seis áreas o categorías: parcela y emplazamiento (PE), energía y atmósfera (EA), recursos naturales (RN), aire interior (AI), aspectos sociales (AS) y calidad de la edificación (CE); que a su vez se desglosan en 15 clases de impacto y éstas en 46 criterios [\[+\]](#).

Parcela y emplazamiento PE 01 Proximidad al transporte público PE 02 Proximidad a equipamientos y servicios PE 03 Facilidades para la bicicleta PE 04 Capacidad de carga de vehículos eléctricos PE 05 Clasificación de RSU PE 06 Gestión y restauración del hábitat PE 07 Uso de plantas para crear sombras PE 08 Efecto isla de calor PE 09 Contaminación luminica	Energía y atmósfera EA 01 Consumo de energía primaria EA 02 Generación distribuida EA 03 Consumo en zonas comunes EA 04 Elección responsable de refrigerantes	Recursos naturales RN 01 Consumo de agua en aparatos sanitarios RN 02 Necesidades de riego en jardines RN 03 Consumos de agua singulares RN 04 Uso de agua no potable RN 05 Uso de materiales reciclados RN 06 Elección responsable de materiales RN 07 Uso de materiales de producción local RN 08 El edificio como banco de materiales RN 09 Gestión de los residuos de la construcción RN 10 Nivel de intervención en rehabilitaciones RN 11 Impacto de los materiales de construcción RN 12 Ecoetiquetado de producto	Ambiente Interior AI 01 Limitación de las emisiones de COV AI 02 Control de la calidad del aire AI 03 Iluminación natural AI 04 Iluminación artificial AI 05 Protección frente al ruido	Aspectos sociales AS 01 Espacios para todas las personas AS 02 Espacios para la comunicación AS 03 Derecho al sol AS 04 Derecho a la intimidad AS 05 Contacto visual con el exterior AS 06 Acceso a espacios abiertos privados AS 07 Diseño inclusivo AS 08 Conexión con la naturaleza AS 09 El edificio como una herramienta de educación	Calidad de la edificación CE 01 Diseño pasivo CE 02 Control parcial de los sistemas de clima (HVAC) CE 03 Control local de la iluminación CE 04 Calidad en la construcción CE 05 Puesta en marcha sistemática CE 06 Custodia de la documentación del proyecto CE 07 Certificaciones voluntarias de edificio
--	--	--	---	--	---

Los pesos de cada categoría pueden variar ligeramente en función del edificio a analizar (por ejemplo, residencial privado vs a otros usos) aunque el objetivo de GBCe es que estas categorías alcancen una importancia muy similar.

Comportamiento ambiental		Comportamiento social		Comportamiento económico	
<i>Cambio climático</i>	9,38 %	<i>Accesibilidad</i>	6,25 %	<i>Aspectos económicos del resultado</i>	6,25 %
<i>Emisiones a la atmósfera, tierra y agua</i>	6,25 %	<i>Adaptabilidad</i>	3,13 %	<i>Ahorro en el coste del ciclo de vida</i>	9,38 %
<i>Cambios en la biodiversidad</i>	9,38 %	<i>Salud y confort</i>	9,38 %		
<i>Agotamiento de energía no renovable</i>	9,38 %	<i>Impactos sobre el vecindario</i>	6,25 %		
<i>Agotamiento de agua potable</i>	6,25 %	<i>Mantenimiento</i>	3,13 %		
<i>Agotamiento de recursos materiales</i>	6,25 %	<i>Seguridad</i>	6,25 %		
<i>Generación de residuos</i>	3,13 %				

Figura.- Peso de los distintos impactos evaluados en VERDE Edificios 2020

Un aspecto distintivo de VERDE es que tiene un enfoque de ciclo de vida completo del edificio, en línea con la tendencia marcado en este sentido de diseñar los edificios pensando en toda su vida útil.

	PRODUCTO			CONSTRUCCIÓN		USO							FIN DE VIDA			
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4
Cambio climático																
Emissiones a la atmósfera, tierra y agua																
Cambios en la biodiversidad																
Agotamiento de energía no renovable																
Agotamiento de agua potable																
Agotamiento de recursos materiales																
Generación de residuos																
Accesibilidad																
Adaptabilidad																
Salud y confort																
Impactos sobre el vecindario																
Mantenimiento																
Seguridad																
Aspectos económicos del resultado																
Ahorro en el coste del ciclo de vida																

Figura.- Impactos evaluados en cada fase del ciclo de vida

Otro factor diferenciador de verde es la evaluación del cumplimiento de los distintos criterios, pudiendo ser: cumplimiento de un valor o no (puntúa o no) y evaluación según una fórmula lineal (el valor final oscila entre los valores de práctica habitual - cumplimiento estricto de la reglamentación - hasta la mejor práctica disponible).

La puntuación final se establece en una clasificación que va desde 1 hasta 5 hojas, siendo el 5 el valor que corresponde a la mejor práctica posible a un coste aceptable:

- 1 hoja: del 30 al 40% de los puntos;
- 2 hojas: del 40 al 50% de los puntos;
- 3 hojas: del 50 al 60% de los puntos;
- 4 hojas: del 60 al 80% de los puntos;
- 5 hojas: más del 80% de los puntos.



Figura.- Edificio Leitat en Barcelona de PICH ARCHITECTS. La fachada revestida de paneles prefabricados de UHPC, es una envolvente eficiente que da respuesta a los requerimientos físicos de la edificación. El edificio obtuvo una certificación energética A y una certificación ambiental Verde 4 hojas [\[+\]](#)

4.3. Potencial de los elementos prefabricados de hormigón en VERDE

Los productos prefabricados de hormigón tienen una incidencia directa en el indicador RN09 Gestión de los residuos de construcción, que consiste en reducir los residuos de construcción enviados a vertedero bien mediante el uso de sistemas constructivos como los prefabricados o mediante procesos de obra controlados que faciliten la separación y clasificación de los residuos para su posterior reutilización o reciclado.

De forma indirecta puede contribuir a alcanzar las exigencias de indicadores tales como:

- PE08 Efecto isla de calor: disminuir el efecto de isla de calor en áreas urbanas mediante la utilización de espacios vegetales de cubiertas o fachadas verdes y la instalación de elementos de sombreado y protección solar de las superficies de acumulación;
- RN05 Uso de materiales reciclados: incentivar la elección de productores con niveles más altos de reciclados pre-consumo y post-consumo en sus productos, para reducir el agotamiento de materias primas y los impactos asociados a su extracción;
- RN08 El edificio como banco de materiales: incentivar los diseños y estrategias implementados en el proyecto del edificio que contemplen y favorezcan la recuperación de los materiales al final del ciclo de vida del mismo y que permite reutilizar el máximo de materiales posible, así como facilitar el reciclado del resto;
- RN12 Ecoetiquetado de producto: incentivar el uso de ecoetiquetado de producto, tipo I o tipo III;
- AI01 Limitación de las emisiones de COV: reducir la concentración de compuestos orgánicos volátiles (COV) en el aire interior;
- Y en energía y atmósfera, teniendo en cuenta la posible contribución de la mejora de la eficiencia energética gracias al empleo de soluciones en hormigón en envolventes y particiones interiores.

Accede a la guía VERDE Edificios 2020 [\[+\]](#)

5. DGNB

5.1. Presentación general

Este sello fue creado en 2009 por la Asociación de Construcción Sostenible de Alemania, en cooperación con el Ministerio Federal de Transportes, Obras Públicas y Desarrollo Urbano (BMVBS). Todos los sistemas mencionados son voluntarios excepto el DGNB (*Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen*) que es obligatorio para los edificios públicos en Alemania. Desde 2019 GBCE actúa como organismo de certificación para los proyectos DGNB en España. Durante 2020, 6 edificios han participado en la adaptación de DGNB System al contexto español, para generar una herramienta propia de nuestra manera de construir y acorde con nuestro contexto.

El DGNB evalúa los edificios y distritos urbanos que demuestran un especial compromiso de cumplir con los objetivos de sostenibilidad.

Otra de las claves de DGNB es que analiza el ciclo de vida completo, teniendo en cuenta el impacto que tendrá éste en el futuro.

El sistema de certificación DGNB se puede aplicar a nivel internacional, dado que puede ser fácilmente adaptado a las peculiaridades climáticas, tipo de construcción, aspectos jurídicos y culturales de otros países.

El sistema de certificación DGNB difiere de otros sistemas de evaluación a través de su enfoque holístico, evaluando además de las tres dimensiones habituales de la sostenibilidad (medioambiental, social y económica), la calidad técnica (garantizar una construcción de alta calidad tanto en los aspectos arquitectónicos como en los sistemas técnicos que alberga el edificio), así como una valoración del emplazamiento en la gestión que se hace del edificio.

La versión española está enfocada a 9 esquemas de edificios: administrativos, educativos, residenciales, logística, industriales, hoteles, pequeño comercio, locales comerciales y centros comerciales.

5.2. Procedimiento de certificación

Las primeras cuatro categorías (ambiental, económica, social y calidad técnica) tienen el mismo peso en la evaluación (22,5%). Esto significa que el sistema DGNB es el único que da la misma

importancia a la dimensiones ambiental como a otras categorías. Dentro de estas seis categorías se reparten unos 50 requisitos, como confort térmico, accesibilidad, aislamiento acústico, etc.



Figura.- Requisitos de DGNB. Fuente GBCe

La puntuación final determina el nivel: bronce (>35%), plata (>50%), oro (>65%) y platino (>80%), además de que se exige una puntuación mínima en cada categoría, lo que implica que haya que repartir los esfuerzos en todas las áreas y aspectos del edificio.

	 Platinum	 Gold	 Silver	 Bronze*
Total performance index	80% and higher	65% and higher	50% and higher	35% and higher
Minimum performance index	65%	50%	35%	-- %

* This award only applies to certification of existing buildings/the Buildings in Use certificate.

5.3. Potencial de los elementos prefabricados de hormigón en DGNB

En la categoría de "Calidad técnica" se incluye el indicador ["Facilidad de recuperación y reciclado"](#). Los elementos constructivos reutilizados y reutilizables, así como en la prevención del uso de elementos constructivos se reconocen mediante dos bonificaciones por economía circular. Si el edificio demuestra tener una estructura fácil de recuperar se puede describir mediante la facilidad de desmontaje de los componentes y su separación en grupos de materiales lo más puros posibles.

Existen otros indicadores que aunque no se exprese directamente, la construcción industrializada mediante elementos prefabricados de hormigón facilita la obtención de puntos, como por ejemplo, reducción de los riesgos durante la ejecución, los procesos más controlados asegurarán un mejor comportamiento global del edificio durante su fase de servicio, calidad del aire interior, etc.

Accede a la guía DGNB para edificios de nueva construcción [\[+\]](#)

6. WELL

6.1. Presentación general

La certificación WELL Building Standard® es administrada por el *International WELL Building Institute™* (IWBI), una corporación pública cuya misión es mejorar la salud humana y el bienestar a través del entorno construido.

WELL es la primera certificación centrada exclusivamente en la salud y el confort de las personas que utilizan el edificio, basándose en el rendimiento y no en la prescripción. Se basa en la investigación médica que explora la conexión entre los edificios donde pasamos más del 90 por ciento de nuestro tiempo, y los impactos sobre la salud y el bienestar de sus ocupantes.

Las características WELL pueden ser aplicadas en muchos tipos de edificaciones, excepto para el unifamiliar residencial, aunque actualmente está optimizada para edificios de oficinas e institucionales, focalizando fundamentalmente la atención en el bienestar del trabajador. El coste laboral es, con mucha diferencia, el más relevante dentro de las empresas. Por tanto, es especialmente importante generar un ambiente confortable y saludable ya que se aumentará la productividad gracias a la mayor satisfacción y menor absentismo.

En cuanto a su aplicación en edificios residenciales como viviendas u hoteles, las ventajas de WELL tienen como consecuencias un impacto positivo en la salud, y mayor energía y calidad del sueño.

Existen dos modalidades de certificación en la versión 2 de WELL, que es la actualmente vigente:

- WELL V2: una única certificación que se adapta a cualquier edificio sin importar su uso o el ámbito de proyecto (obra nueva, reforma interior, rehabilitación completa, etc.);
- WELL V2 Core: modalidad para aquellos edificios en los que el propietario no sea el que va a utilizar el edificio (edificios en alquiler o de venta a terceros).

Hay que añadir que recientemente se ha desarrollado la certificación WELL Health-Safety Rating [\[+\]](#). La calificación, que consiste en un subconjunto de características relevantes del WELL Building Standard adaptado para operaciones y administración de instalaciones, fue creado como consecuencia de la pandemia COVID-19, pero tiene una aplicabilidad más amplia para respaldar la salud y seguridad a largo plazo necesidades de las personas en un espacio

determinado. Diseñado para capacitar a propietarios y operadores de empresas grandes y pequeñas por igual para que tomen las medidas.

También debe apuntarse la posibilidad de realizar certificaciones complementarias, por ejemplo, evaluando en un edificio los indicadores más de índole medioambiental (LEED, BREEAM, etc.) y WELL aquellos aspectos que se traducen en el bienestar de las personas. Cuando se implementan juntas se optimiza el rendimiento del edificio en beneficio de la salud humana y del medio ambiente.

El Instituto Tecnológico de Galicia (ITG) es el primer *Market Partner* oficial del International WELL Building Institute™ (IWBI™) en España y América Latina. A finales de 2020, en España había 18 edificios certificados con WELL y unos 125 edificios en proceso de certificación.

6.2. Procedimiento de certificación

WELL analiza 112 indicadores agrupados en diez conceptos o categorías [\[+\]](#):

- Aire: optimizar y conseguir una buena calidad del aire interior. Las estrategias incluyen la eliminación de contaminantes en el aire, mediante la ventilación la prevención y la purificación;
- Agua: optimizar la calidad del agua, y promoción de su uso adecuado. Las estrategias incluyen la eliminación de contaminantes a través de filtración y tratamiento, y un plan estratégico de uso;
- Alimentación: fomentar hábitos alimenticios saludables, proporcionando a los ocupantes, opciones más saludables de alimentos, pautas de comportamiento, y el conocimiento acerca de la calidad de los nutrientes;
- Iluminación: minimizar la interrupción del ritmo circadiano del cuerpo. Los requisitos para espacios con luz natural, diseño de iluminación y controles de los niveles de iluminación son puntos que se incluyen para mejorar la energía, el estado de ánimo y la productividad;
- Movimiento (*Fitness*): utilizar el diseño en la construcción y estrategias basadas en el conocimiento para fomentar la actividad física. Qué requisitos se pueden diseñar para proporcionar oportunidades para la actividad y el ejercicio físico dentro del horario diario de los ocupantes;

- Confort térmico: crear un ambiente interior que sea, productivo, y calmante sin distracciones. Las soluciones incluyen las normas de diseño y recomendaciones, capacidad de regulación térmica y acústica, y la implementación de políticas que cubre los parámetros acústicos y térmicos que son conocidas fuentes de malestar;
- Sonido: busca limitar el efecto de las fuentes de distracción de procedencia acústica (ruidos) que causan discomfort;
- Materiales: reducir la exposición de ingredientes de materiales de construcción peligrosos, reducción de COV's, apostar por materiales de fácil limpieza, etc.;
- Mente: apoyo a la salud mental y emocional, proporcionando al ocupante en su entorno a través de elementos de diseño, espacios de relajación y tecnología de última generación, con un *feedback* periódico;
- Comunidad: establecer una comunidad inclusiva e integrada a través de la equidad social, el compromiso cívico y el diseño accesible, buscando de qué manera el edificio y sus usuarios pueden repercutir positivamente en su entorno.

Muchas características WELL destinadas a mejorar la salud son compatibles con las normas y códigos de construcción existentes. Algunas características están destinadas a cambiar el comportamiento a través de la educación y la política de la empresa o de la cultura, y proporcionar información y apoyo para la toma de decisiones de estilo de vida positivos.

Las características WELL se clasifican ya sea como condiciones previas necesarias para la certificación WELL (pre-requisitos obligatorios), o como optimizaciones opcionales de mejoras (adicionales), que en conjunto determinan el nivel de certificación. Como en otros sistemas, con la suma total de puntos se obtiene la calificación. La puntuación máxima será de 110 puntos: 100 puntos de optimizaciones y 10 de innovación.



Figura.- Niveles de certificación WELL: plata (silver), oro (gold) y platino (platinum)

El proceso atraviesa las siguientes etapas:

- Registro;
- Asesoramiento;
- Envío de documentación;
- Verificación: es una etapa fundamental pues cuenta a diferencia de otros sistemas que son verificaciones puramente documentales, aquí se deben realizarse ensayos in situ:
 - Pruebas de calidad del aire;
 - Test de calidad del agua;
 - Medición de las propiedades de iluminación;
 - Pruebas térmicas;
 - Medición de parámetros acústicos.
- Certificación.

Además, cada tres años se realiza un proceso de recertificación para evaluar si las condiciones de partida se mantienen en el tiempo.

6.3. Potencial de los elementos prefabricados de hormigón en WELL

Los elementos prefabricados de hormigón no tienen una asignación directa en las distintas categorías, aunque está plenamente probado que ofrecen varias ventajas fundamentales en la

categoría de materiales, evaluando su composición química y su impacto potencial en la calidad del aire interior:

- El empleo de elementos prefabricados es una construcción en seco que apenas deja residuos durante la construcción, residuos que inevitablemente dejarían polvo adherido a superficies o instalaciones, en cuyo caso perjudicaría inevitablemente la calidad del aire interior;
- El hormigón se considera inocuo y, por tanto, no generador de compuestos orgánicos volátiles, por lo que mejora aún más la calidad del aire, especialmente si se dejan los elementos vistos (estructuras, techos, paredes o suelos) sin necesidad de ninguna pintura o revestimiento;
- La inercia térmica del hormigón como propiedad termorreguladora para mejorar el confort en el interior del edificio;
- La tecnología fotocatalítica, una solución eficaz para la inactivación y posterior degradación de virus, siempre que existan condiciones de luz (irradiación) adecuadas, condiciones ambientales favorables (temperatura, humedad relativa) y tipo/cantidad de fotocatalizador capaz de interactuar y acelerar los procesos químico-físicos necesarios para tal fin. Existen distintas formas (mediante adiciones en el cemento, o pulverizado en el propio elemento prefabricado) para utilizar el principio activo fotocatalítico en materiales en base cemento. Esto sugiere oportunidades en entornos públicos, como: escuelas, hospitales, estaciones, aeropuertos, hoteles, centros comerciales o grandes intercambiadores de transporte público, que aparecen como lugares ideales para la transmisión de patógenos.



Accede a la versión WELL 2 [\[+\]](#)

7. HQE

7.1. Presentación general

De origen francés, HQE (*Haute Qualité Environnementale*) surgió hace más de 20 años para asesorar a promotores, arquitectos, etc. para el diseño de edificios y de desarrollos urbanos sostenibles y energéticamente eficientes.

La Certificación HQE™ es una marca comercial registrada a nivel internacional y propiedad exclusiva del Alliance HQE-GBC.

Dispone de tres esquemas de evaluación: edificación, infraestructuras y urbanismo.

- Edificios:
 - HQE Construcción: edificios residenciales y no residenciales (oficinas, centros comerciales, escuelas, atención médica, etc.), de nueva construcción o rehabilitación.
 - HQE en uso: cualquier edificio no residencial o parte de ese edificio en uso. Pueden implantar el esquema los propietarios, gerentes y/o ocupantes
- Planificación Urbana y Desarrollo Urbano: cualquier proyecto de urbanismo, independientemente de su tamaño, en un procedimiento público o privado, en un contexto local o de destino: renovación o extensión, urbano o rural, vivienda y / o actividades, etc.
- Infraestructuras, [como veremos más adelante](#).

Está implantada en 26 países, especialmente en Francia y países francófonos. En España lo gestiona TECNALIA CERTIFICACIÓN, habiéndose certificado tres edificios hasta 2020 [\[+\]](#).

Además, junto a DGNB ha sido uno de los esquemas que han sido considerados para el desarrollo de [LEVEL\(s\)](#).

7.2. Procedimiento de certificación

En el caso de los edificios, define cuatro categorías de evaluación: energía, medio ambiente, salud y confort, concediendo a la parte social (salud y confort) el 50% de la puntuación. Estas

cuatro categorías se desglosan en 14 apartados más específicos: emplazamiento, materiales, obra, energía, agua, residuos, confort higrotérmico, confort acústico, confort visual, confort olfativo, calidad de los espacios, calidad del aire y calidad del agua.

La clasificación final se obtiene sumando los puntos obtenidos, determinándose cinco niveles: aceptable, bueno, muy bueno, excelente y excepcional.



7.3. Potencial de los elementos prefabricados de hormigón en WELL

Como en el resto de sistemas de evaluación de la sostenibilidad, los elementos prefabricados de hormigón contribuyen a la obtención de créditos gracias a sus ventajas como mayor durabilidad, construcción en seco (no genera polvo ni residuos), no generación de COV's o mayor inercia térmica.

8. OTROS SISTEMAS DE EVALUACIÓN DE EDIFICIOS

8.1. Certificación energética de edificios y viviendas

Se trata de una evaluación parcial de la sostenibilidad, pues solo considera la eficiencia energética del inmueble.

El Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios, emana primero de la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo y posteriormente de la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la eficiencia energética de los edificios

La presentación o puesta a disposición de los compradores o arrendatarios del certificado de eficiencia energética de la totalidad o parte de un edificio, según corresponda, es exigible para los contratos de compraventa o arrendamiento celebrados desde junio de 2013.

Los procedimientos para la calificación de eficiencia energética de un edificio deben ser documentos reconocidos y estar inscritos en el Registro general.

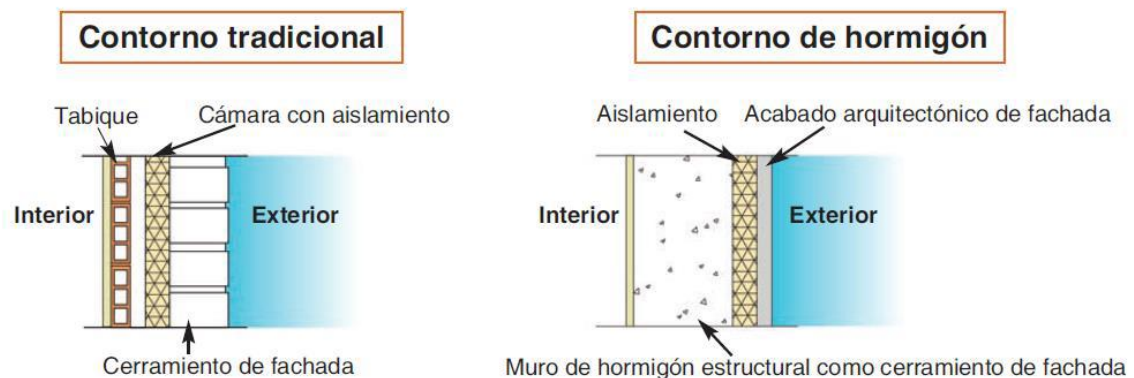
La obtención del certificado de eficiencia energética otorgará el derecho de utilización, durante el periodo de validez del mismo, de la etiqueta de eficiencia energética, cuyos contenidos se recogen en el documento reconocido correspondiente a la etiqueta de eficiencia energética, disponible en el Registro general.

La etiqueta se incluirá en toda oferta, promoción y publicidad dirigida a la venta o arrendamiento del edificio o unidad del edificio. Deberá figurar siempre en la etiqueta, de forma clara e inequívoca, si se refiere al certificado de eficiencia energética del proyecto o al del edificio terminado.

La inercia térmica en el nuevo Código Técnico de la Edificación

Los consumos de energía también pueden diferir si el edificio se realiza mediante procesos industrializados frente a si se lleva a cabo de forma tradicional. La nueva versión del Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación (aprobada por el Real Decreto 732/2019) que transpone la Directiva Europea de Eficiencia Energética de Edificios (Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo) y que entró en vigor en septiembre de 2020, requiere que todos los edificios de nueva construcción y algunos donde se lleven a cabo intervenciones importantes, sean de consumo de energía casi nula (calificación energética $\approx A$).

La inercia térmica del hormigón aprovechada en muros y forjados combinada con otras estrategias de diseño permite una mejora de la calificación energética frente a soluciones más tradicionales.



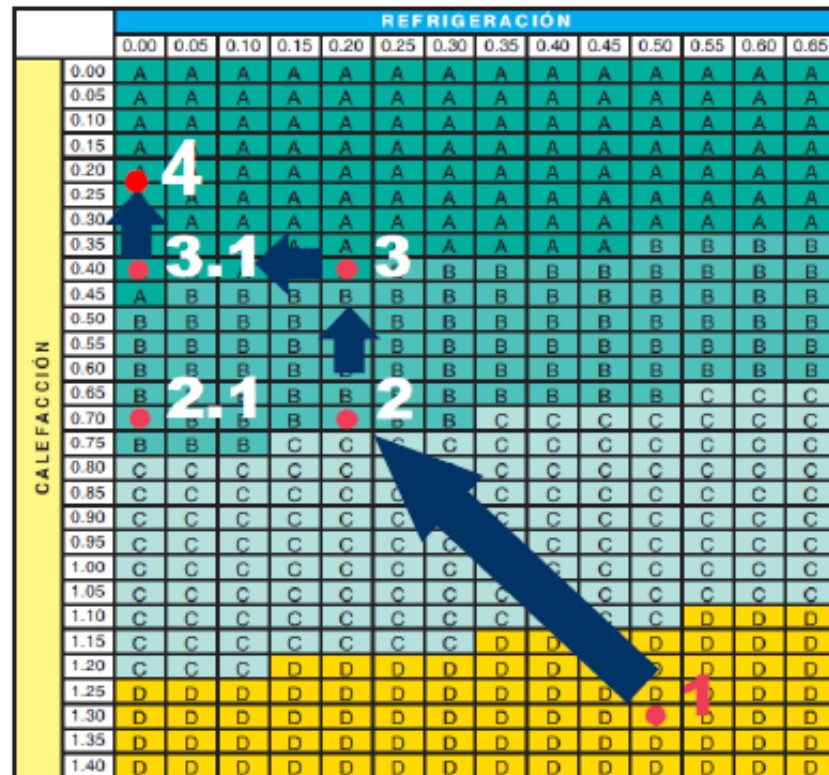


Figura.- Mejora de la calificación energética del edificio combinando la inercia térmica de los paneles de fachada y las placas alveolares, ambos prefabricados de hormigón, junto a otras medidas complementarias de diseño energético: 2) Mejoras de estanqueidad y sistemas de ventilación con caudal variable; 3) Inclusión de galería acristalada en la zona de máxima insolación; 4) Caldera mixta de condensación de gas natural. Fuente: Edificio ECHOR

CTE: cómo afecta el nuevo DB-HE Ahorro de energía a los prefabricados de hormigón

ANDECE

<https://youtu.be/CoZ2O93yJ4>

Muros y forjados prefabricados de hormigón para la certificación energética con CYPETHERM HE Plus

CYPE

<https://youtu.be/iRHITzJDvRE>

Tabla.- Vídeos de webinars organizados por ANDECE sobre eficiencia energética en edificios

8.2. Passivhaus

El Passivhaus, o casa pasiva, es un estándar de construcción nacido en Alemania en 1991 que se ha ido extendiendo por el resto del mundo. Tampoco se puede considerar como un sistema de evaluación de la sostenibilidad de la construcción, aunque sí que puede asegurarse que los edificios certificados con este sistema cumplen con algunos de los principios básicos de la construcción sostenible.

Combina un elevado confort interior con un consumo de energía muy bajo, gracias al máximo cuidado de la envolvente del edificio y a un sistema de ventilación controlada. Para ello tienen que cumplir cinco requisitos:

- Excelente aislamiento térmico: dependiendo del clima se debe optimizar el espesor del aislamiento térmico en función del coste y de la mejora de la eficiencia energética;
- Ausencia de puentes térmicos: para evitar las pérdidas o ganancias de energía indeseadas, se puede construir sin puentes térmicos al no interrumpir la capa de aislamiento, usar un material con la resistencia térmica mayor si se interrumpe la capa de aislamiento y/o cuidar las juntas entre elementos constructivos;
- Ventanas y puertas de altas prestaciones: los huecos son el “punto débil” de la envolvente, por lo que se debe poner mucha atención en su ubicación durante el diseño del proyecto, y en su correcta colocación durante la obra;
- Ventilación mecánica con recuperación de calor: las personas y los electrodomésticos generan calor en el interior del edificio, éste es reaprovechado por el sistema de ventilación, al precalentar el aire limpio entrante antes de expulsar el aire viciado;
- Estanqueidad al aire: en una construcción convencional, las corrientes de aire que se pueden dar a través de ventanas, huecos o grietas provocan incomodidad en el usuario y hasta condensaciones interiores, particularmente durante los períodos más fríos del año. En un edificio Passivhaus, la envolvente es lo más estanca posible logrando una eficiencia elevada del sistema de ventilación mecánica. Esto se logra cuidando al máximo la ejecución de las juntas durante la construcción.

Por tanto, este estándar persigue la optimización de los recursos existentes a través de técnicas pasivas, como por ejemplo un buen factor de forma (disposiciones geométricas cuanto más regulares, mejor), que reduzca la superficie en contacto con el exterior para disminuir las necesidades de climatización, una orientación correcta de las ventanas para aprovechar el calor del sol cuando están cerradas y la ventilación natural al abrirlas, o poner protecciones solares que impidan un sobrecalentamiento en verano, etc. La poca energía suplementaria que requieren se puede cubrir con facilidad a partir de energías renovables, convirtiéndose en una construcción con un coste energético muy bajo para el propietario.

Este estándar no supone el uso de un tipo de producto, material o estilo arquitectónico específicos, si bien los sistemas constructivos industrializados, mucho menos dependientes de las más que probables ineficiencias de la construcción in situ, hacen que estos sean mucho más efectivos para cumplir con los estrictos requisitos del Passivhaus.

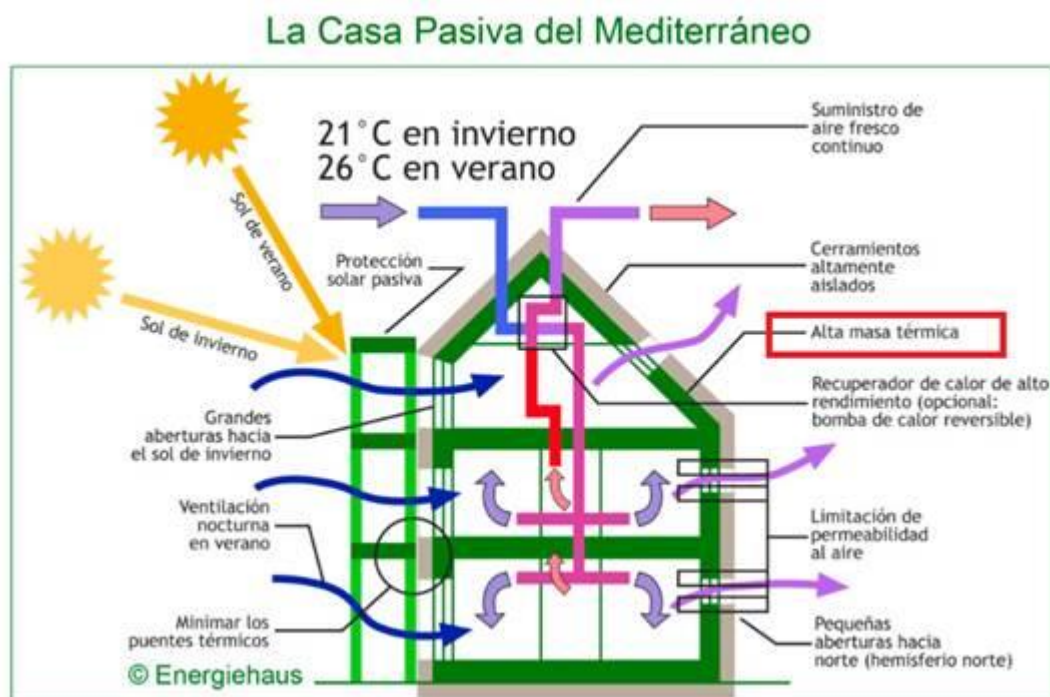


Figura.- Aunque no es un principio incluido, la inercia térmica comienza a ser considerada dentro del estándar Passivhaus. Fuente: Energiehaus

Envolventes industrializadas, Passivhaus y la incorporación de energías renovables

BIONM

<https://youtu.be/8xbj8NIYPAQ>

8.3. CO2Nulo

Es una certificación de origen español de 5 pasos desarrollada por Ecómetro [\[+\]](#) para aquellos edificios que cumplen una serie de condicionantes y no tienen emisiones de CO₂. Los pasos que se tienen que seguir para obtener esta certificación son los siguientes.

- Medir la huella de carbono de la construcción o rehabilitación de un edificio en sus diferentes etapas, extracción de los materiales, transporte a obra, puesta en obra y etapa operacional, a través de herramientas de análisis de ciclo de vida (ACV);
- Minimizar la huella de carbono a través de medidas relacionadas con la elección de materiales y el diseño de máxima eficiencia energética;
- Compensar la huella de carbono a través de programas de compensación reconocidos (p.ej. el programa CEROCO₂ de ECODES). El hecho de contaminar debe llevar un pago asociado para su compensación;
- Electrificar el edificio o local al 100% para que no exista ninguna fuente de combustión en el edificio;
- Cubrir la necesidad restante con 100% energías renovables, a través de producción propia en el edificio o local, o a través de un contrato con una comercializadora de energías 100% renovables.

Estas cinco medidas convertirían a un edificio en un ejemplo de arquitectura para la mitigación del cambio climático. Sin embargo, los beneficios para el medio ambiente, por obtener esta certificación no son solo estos, ya que los impactos de la edificación no se limitan tan solo en la huella de carbono. Al ser una certificación que se basa en el análisis de ciclo de vida del edificio (ACV), ofrece información clara e inequívoca sobre otros impactos derivados de la construcción del mismo.

Existen ya varios edificios CO2Nulo, tanto de nueva construcción como de rehabilitación, que han medido, han minimizado y han compensado su impacto, mientras que han puesto las bases por un impacto cero en la fase operacional del edificio a través de la reducción de la demanda energética, la electrificación de los consumos y la satisfacción de la necesidad energética restante por 100% energías renovables.

8.4. SB-Tool

- Origen y aplicación: Canadá, aunque otra veintena de organizaciones de otros países participaron en su gestación y desarrollo.
- Herramienta diseñada para cuantificar la autosuficiencia energética, el autoabastecimiento de agua y el empleo de materias primas cuya selección atienda a criterios de cercanía, reutilización y reciclabilidad. De aplicación en edificios (oficinas, viviendas y otros).
- Se validan cuatro fases de la construcción (pre-proyecto, proyecto, construcción, y operación) y se establecen 7 categorías (selección del local, planeamiento del proyecto y diseño urbano, consumo de energía y recursos, carga ambiental y calidad ambiental interna, calidad del servicio, aspectos económicos y sociales, aspectos culturales y de percepción). Estas categorías se desglosan en 125 criterios/requisitos.
- Cada criterio se puntúa desde -1 hasta +5; por ejemplo, -1 correspondería a un nivel de desempeño por debajo del nivel aceptable en su región para una ocupación específica; 0 sería el nivel mínimo de desempeño aceptable en esa región; +3 indica el empleo de las mejores técnicas Disponibles y +5 es la mejor solución técnicamente posible, sin tener en cuenta los costos.
- A continuación, se ponderan las puntuaciones de cada requisito y se suman para obtener la puntuación final de cada categoría, que en función de la metodología local define una serie de niveles. Por ejemplo, el SBToolCZ (República Checa) establece cuatro grados: edificio certificado (hasta 3,9 puntos sobre 10), certificación bronce (entre 4 y 5,9), plata (entre 6 y 7,9) y oro (entre 8 y 10).

8.5. Green Star

- Origen y aplicación: Australia;
- Nueve categorías de impacto medioambiental: gestión de edificios, calidad de la vivienda, energía, transporte, agua, materiales, uso del suelo y ecología, emisiones e innovación;
- Entre las calificaciones se incluyen criterios para la adición de sustitutos de cemento de hasta un 40% de cemento portland, la adición de hasta un 50% de agua de lluvia o aguas clarificadas, así como de áridos reciclados o arena, o incluso para la reutilización de elementos prefabricados de hormigón.

8.6. Energy Star

- Origen y uso principal: Estados Unidos;
- Criterios para la certificación del edificio: para recibir la etiqueta ENERGY STAR, un edificio debe encontrarse dentro del 25% superior de mejor desempeño energético con respecto a edificios similares de acuerdo con el Sistema Norteamericano de Clasificación de Comportamiento Energético de la EPA.

8.7. Pearl Rating

- Origen y aplicación: Emirato de Abu Dabi;
- Sistema de valoración para nuevos proyectos de construcción, en el que se pueden obtener hasta 5 puntos o perlas (*pearls*);
- Todas las nuevas construcciones deben obtener obligatoriamente un punto; los proyectos de construcción del Gobierno de Abu Dabi, dos puntos como mínimo;
- Incluye una base de datos de productos homologados que cumplen los requisitos del sistema de evaluación.

8.8. NABERS

- Origen y uso principal: Australia
- Mide el comportamiento del edificio durante su fase de servicio, centrándose en el consumo de energía, consumo de agua, calidad del aire interior y la generación de residuos, durante periodos de 1 año;
- Cada característica se puntúa entre 1 estrella (peor) a 6 estrellas (mejor comportamiento).

8.9. Minergie-ECO

Minergie-ECO es el estándar de construcción de bajo consumo en Suiza, y se aplica en diferentes versiones. Puede combinarse en dos sellos distintos pero complementarios: Minergie-P (podría considerarse la versión suiza de Passivhaus) con el sello ECO que abarca ámbitos de calidad de vida y salud, el temario de impacto ambiental de la construcción misma y considera todo el ciclo de vida de un edificio, desde la fase de obra, a la de uso, hasta su demolición.

9. NORMATIVA DE EDIFICACIÓN SOSTENIBLE

9.1. Situación normativa actual

Hasta la aparición del esquema LEVEL(s) no existía un consenso generalizado sobre los criterios de impacto más adecuados ni un marco común, resultando una diversidad enorme sistemas de evaluación tal y como hemos observado en los apartados anteriores. Además, no resulta sencillo realizar comparaciones comprensibles entre estos sistemas, e incluso entre una construcción sostenible frente a la tradicional.

Para hacer frente a esta gran cantidad de métodos de cuantificación de la sostenibilidad, las dos principales organizaciones mundiales de normalización, CEN (Europa) e ISO (Internacional), han comenzado a desarrollar sus propias normas. Su propósito es armonizar internacionalmente esta disparidad de métodos de evaluación y en el mejor de los casos, que sirvan de referencia para que los distintos gobiernos nacionales o regionales las adapten e incluyan dentro de su propia reglamentación. No obstante, esto no resultará un reto sencillo en la medida de que los esquemas de construcción sostenible llevan cerca de dos décadas evolucionando y asentándose.

9.1.1 Europa

Se destacan las dos normas siguientes:

EN 15643-2 Evaluación de los edificios – Parte 2: marco para la evaluación del comportamiento ambiental

Esta norma europea forma parte de una serie de normas europeas, elaboradas por el Comité Técnico CEN/TC 350, que proporciona los principios específicos y los requisitos para la evaluación de edificios en lo que respecta al comportamiento ambiental, teniendo en cuenta las características técnicas y funcionales del edificio. La parte 2 se refiere a la parte ambiental, mientras que la 3 (social) y 4 (económica) serán analizadas en el siguiente módulo de este curso.

Es aconsejable llevar a cabo una evaluación lo antes posible, durante las etapas iniciales del proyecto de construcción o reforma, como por ejemplo en la etapa de borrador, para poder disponer de una estimación general del comportamiento ambiental, social y económico. A medida que el proyecto avance, la evaluación se puede revisar y actualizar periódicamente para ayudar

a la toma de decisiones. Se debería llevar a cabo una evaluación final de la obra construida (*as built*).

Los objetivos de la evaluación del edificio son:

- Determinar los impactos y aspectos del edificio y de su parcela;
- Permitir al cliente, al usuario y al arquitecto tomar decisiones y seleccionar alternativas que ayuden a responder a los objetivos en materia de contribución a la sostenibilidad de los edificios.

La evaluación se basa en un análisis del ciclo de vida y la información ambiental cuantificable adicional se expresa con ayuda de indicadores cuantificados. Dentro de este marco ambiental, el ciclo de vida del edificio comienza con la adquisición de materias primas. Continúa con la fabricación de productos, los procesos de construcción, el uso real incluyendo el mantenimiento, la reforma y la explotación del edificio y, finalmente, el fin de vida con el desmantelamiento o deconstrucción, el tratamiento de residuos para su reutilización, el reciclaje, la recuperación de la energía y otras operaciones de recuperación, así como el vertido de los materiales de construcción.

Para describir el comportamiento ambiental de los edificios durante su ciclo de vida deben utilizarse los siguientes grupos de indicadores ambientales:

- Indicadores para los impactos ambientales (categorías de impactos del análisis del impacto del ciclo de vida, AICV):
 - Potencial de agotamiento de los recursos abióticos (distinguiendo los elementos y los combustibles fósiles);
 - Acidificación del suelo y de los recursos de agua;
 - Destrucción de la capa de ozono estratosférica;
 - Eutrofización;
 - Formación de ozono troposférico;
 - Potencial de cambio climático;
 - Biodiversidad;
 - Ecotoxicidad;
 - Toxicidad humana;

- Modificación en los usos del suelo.
- Indicadores para el consumo de recursos (aspectos ambientales):
 - Utilización de energía primaria no renovable excluyendo los recursos de energía primaria no renovable utilizados como materias primas;
 - Energía primaria renovable excluyendo los recursos de energía primaria renovables utilizados como materias primas;
 - Energía primaria no renovable utilizada como materias primas;
 - Energía primaria renovable utilizada como materias primas;
 - Materiales secundarios;
 - Combustibles secundarios no renovables y/o renovables;
 - Recursos de agua dulce.
- Indicadores para otra información ambiental complementaria:
 - Componentes destinados a la reutilización;
 - Materiales destinados al reciclaje;
 - Materiales destinados a la recuperación de energía;
 - Residuos no peligrosos eliminados;
 - Residuos peligrosos eliminados (distintos de los residuos radiactivos);
 - Residuos radiactivos eliminados;
 - Energía exportada.
- Indicadores para la información ambiental complementaria (aspectos ambientales):
 - Utilización de materiales gestionados de forma sostenible;
 - Utilización de combustibles generados de forma sostenible (por ejemplo, biocarburantes).

A diferencia de los esquemas de certificación ya mencionados, las normas desarrolladas bajo este marco no establecen reglas sobre cómo los diferentes esquemas de evaluación pueden proporcionar métodos de asignación de valor (peso de unos requisitos frente a otros). Tampoco prescriben niveles, clases o referencias comparativas (*benchmarks*) para medir el comportamiento.

EN 15978 Evaluación del comportamiento ambiental de edificios – Método de cálculo

Esta norma europea especifica el método de cálculo, basado en el análisis de ciclo de vida (ACV) y la información ambiental cuantificada adicional necesaria, para evaluar el comportamiento ambiental de un edificio, e indica los medios para la comunicación de los resultados de la evaluación. La norma es aplicable a edificios nuevos y existentes y a proyectos de rehabilitación.

La aproximación a la evaluación cubre todas las etapas del ciclo de vida del edificio y está basada en los datos obtenidos de las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP), sus “módulos de información” y el resto de información necesaria y relevante para llevar a cabo la evaluación. La evaluación incluye todos los productos, procesos y servicios de construcción relacionados con los edificios, utilizados a lo largo del ciclo de vida del edificio.

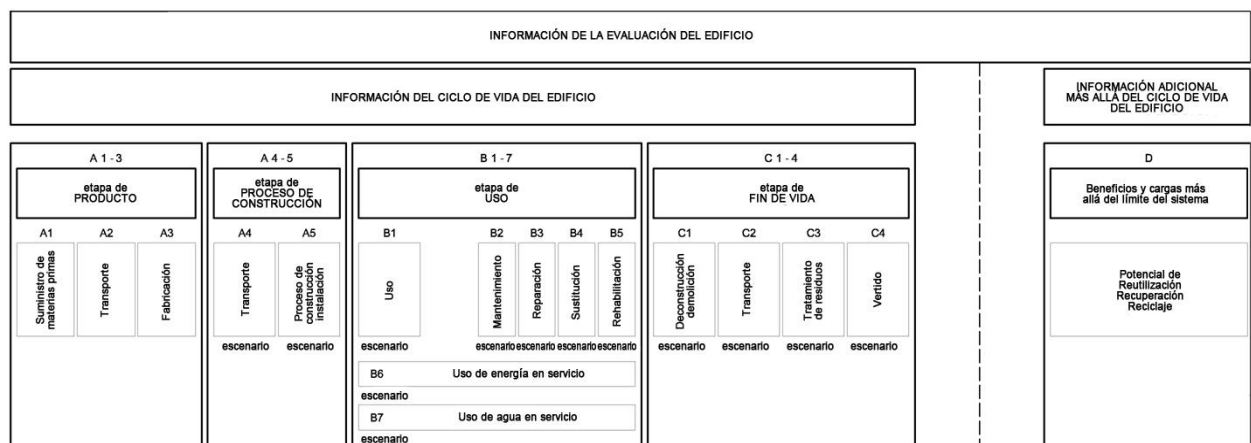


Figura.- Muestra de la información modular para las diferentes etapas de la evaluación del edificio

Esto incluye todos los procesos necesarios para establecer y mantener la(s) función(es) del edificio, desde la adquisición de las materias primas al vertido o al punto donde los materiales salen del límite del sistema bien durante o al final del ciclo de vida del edificio

Los módulos A1 a C4 cubren los impactos y aspectos ambientales que están directamente vinculados a procesos y operaciones que tienen lugar dentro del límite del sistema del edificio, mientras que el módulo D proporciona los beneficios netos relativos a la exportación de energía y a los materiales secundarios, a los combustibles secundarios o productos secundarios

resultantes de la reutilización, reciclaje y a la recuperación de energía que tienen lugar más allá del límite del sistema.

Por ejemplo, la etapa de uso (B1-B7) incluye el uso de productos de construcción y servicios para proteger, conservar, regular o controlar el objeto de la evaluación, por ejemplo, los servicios del edificio como calefacción, refrigeración, iluminación, suministro de agua y transporte interno (proporcionado por ejemplo por ascensores y escaleras mecánicas), y escenarios para el mantenimiento incluyendo la limpieza, el uso (consumo) y sustitución de maquinaria.

9.1.2. Internacional

Se cita la Norma ISO 21931-1: sostenibilidad en la construcción de edificios – Marco para los métodos de evaluación del comportamiento ambiental de las obras de construcción – Parte 1: Edificios. Esta norma guarda enormes similitudes con la norma europea EN 15643-2, aunque al ser internacional es más adaptable a las consideraciones locales (clima, aspectos socioculturales, etc.) donde pueda llegar a aplicarse.

9.2. LEVEL(s)

Ante los numerosos sistemas de evaluación de la sostenibilidad de los edificios, la Comisión Europea decidió en 2017 emprender el desarrollo de una metodología propia: LEVEL(s). Diseñado como un marco común de sostenibilidad para edificios residenciales y de oficinas, tanto los de nueva construcción como los edificios ya existentes en los que se realice una reforma importante, ofrece un conjunto de indicadores y parámetros comunes para medir el comportamiento medioambiental de los edificios durante su ciclo de vida, aunque también permite evaluar otros aspectos clave a tener en cuenta en la sostenibilidad al utilizar indicadores vinculados a la salud y el bienestar, el coste del ciclo de vida y los posibles futuros riesgos para el comportamiento.

Se compone de seis macroobjetivos (o categorías) que establecen las metas para la contribución de los edificios de toda la Unión Europea a los objetivos relacionados con el medio ambiente, la salud y el bienestar, los costes, el valor y los riesgos:

- Área temática: comportamiento medioambiental durante el ciclo de vida:

- 1. Emisiones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida de un edificio: minimizar el volumen total de emisiones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida de un edificio, de la cuna a la cuna, prestando especial atención a las emisiones derivadas del consumo de energía durante el funcionamiento del edificio y de la energía incorporada.
- 2. Ciclos de vida de los materiales circulares y que utilizan eficientemente los recursos: optimizar el diseño, la ingeniería y la forma del edificio para contribuir a un flujo sencillo y circular, ampliar la utilidad de los materiales a largo plazo y reducir los impactos ambientales significativos.
- 3. Empleo eficiente de los recursos hídricos: utilizar los recursos hídricos de manera eficiente, especialmente en zonas con un estrés hídrico a largo plazo o previsto.
- Área temática: salud y bienestar:
 - 4. Espacios saludables y cómodos: crear edificios que sean cómodos, atractivos y productivos para vivir y trabajar en ellos, así como que protejan la salud de las personas.
- Área temática: coste, valor y riesgo:
 - 5. Adaptación y resiliencia al cambio climático: preparar el comportamiento de los edificios para hacer frente a los futuros cambios climáticos previstos, con el fin de proteger la salud y el bienestar de los ocupantes y frenar y minimizar los riesgos para el valor del inmueble.
 - 6. Optimización del coste del ciclo de vida y del valor, para reflejar el potencial de mejora del rendimiento a largo plazo, incluyendo la adquisición, operación, mantenimiento, renovación, eliminación y fin de vida útil.

Estos seis macroobjetivos se desglosan a su vez en 16 indicadores principales:

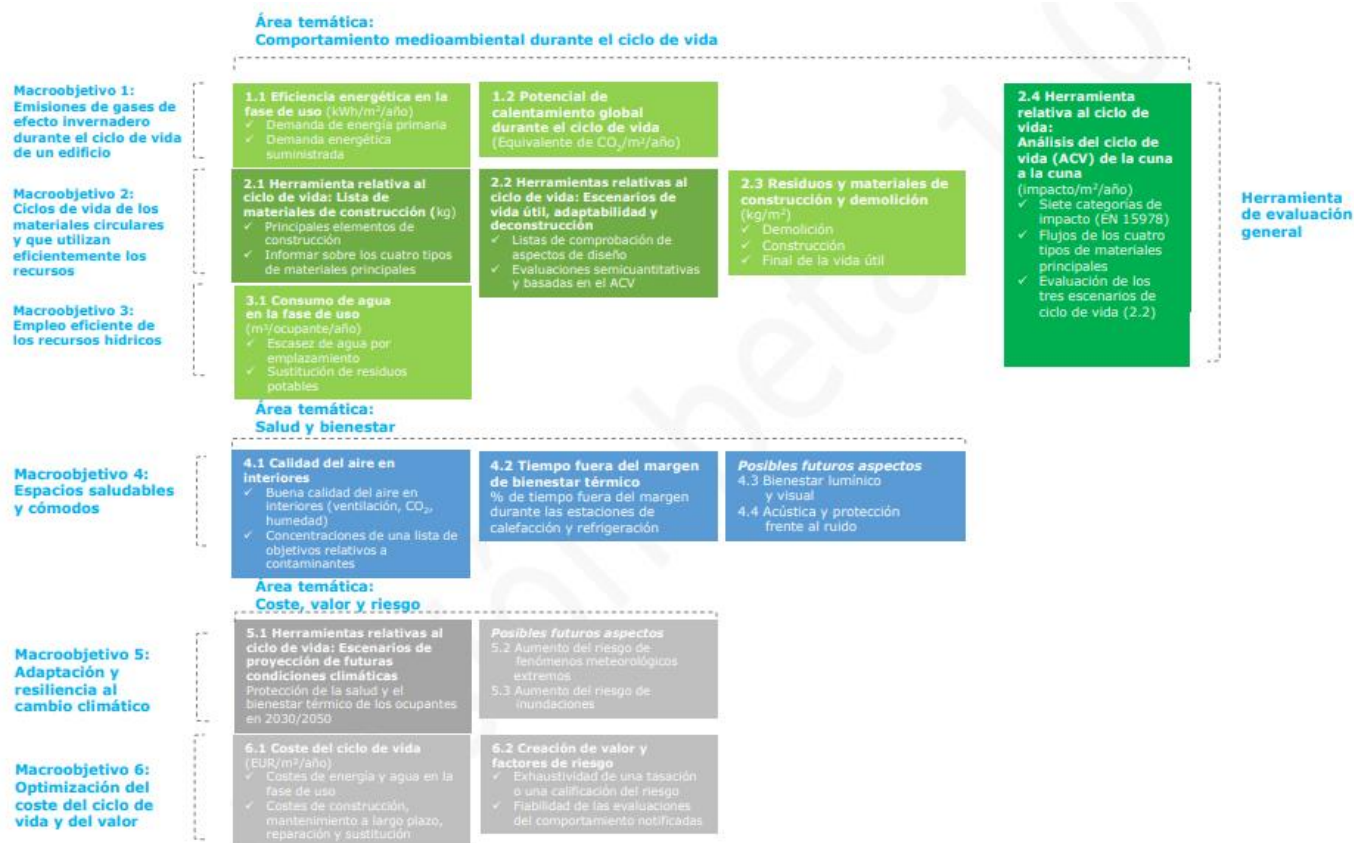


Figura.- Estructura de indicadores en LEVEL(s)

Aunque LEVEL(s) no discierne entre unos u otros materiales de construcción, los indicadores donde los elementos prefabricados de hormigón pueden resultar una opción determinante son la inercia térmica (1.1. Eficiencia energética en la fase de uso), disponer de una declaración ambiental de producto (1.2. Potencial de calentamiento global durante el ciclo de vida), empleo de materiales reciclados, eficiencia en el uso de materiales y diseños optimizados (2.1.), minimización de residuos, diseño modular y diseño para desmontaje y reutilización de elementos prefabricados al final de la vida, empleo de conexiones mecánicas y elementos estándar (2.2. Herramientas relativas al ciclo de vida: Escenarios de vida útil, adaptabilidad y deconstrucción) o bajas emisiones de COV's (4.1. Calidad del aire en interiores).

Los usuarios del marco LEVEL(s) aprenderán a recopilar, simular, medir y analizar una serie de datos relacionados con el comportamiento de un edificio residencial o de oficinas. Estos datos pueden obtenerse por estimación o por medición.

El marco respalda el uso de tres niveles de evaluación del comportamiento que pueden llevarse a cabo utilizando los indicadores:

- 1) Evaluación común del comportamiento;
- 2) Evaluación comparativa del comportamiento;
- 3) Evaluación optimizada del comportamiento.

Los tres niveles representan una progresión en términos de precisión y fiabilidad al llevar a cabo una evaluación del comportamiento, así como en cuanto al nivel de especialización y capacidad profesionales necesario para utilizar cada nivel.

Los primeros sistemas que ya han comenzado a adaptar sus procedimientos al esquema LEVEL(s) son [VERDE](#), [DGNB](#) o [HQE](#), entre otros. No obstante, también persigue establecerse como un marco de referencia en el diseño de edificios sostenibles, para estudios de arquitectura, consultoras de ingeniería, promotores, administraciones, etc. que quieran utilizarlo.

[Accede a la información de LEVEL\(s\) \[+\]](#)

10. SISTEMAS DE EVALUACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS

10.1. CEEQUAL

Sistema de evaluación de la sostenibilidad de la obra civil, es seguramente el más extendido internacionalmente al haber sido el primero [\[+\]](#). De origen inglés, surgió en 2003. Asiste por igual a la mejora de los aspectos ambientales, sociales y económicos de cualquier infraestructura. En 2015 acumulaba más de 250 proyectos certificados y más de 700 proyectos registrados para ser evaluados. Presenta un esquema adaptado a la construcción del Reino Unido e Irlanda, y otro para obras internacionales.

El esquema se compone de 200 preguntas, relativos a los aspectos ambientales y sociales de un proyecto como el uso de agua, energía, tierra, impactos sobre la ecología, paisaje, vecinos, arqueología, minimización de residuos, gestión, relaciones con la comunidad y esparcimiento.

Igual que en la mayoría de los sistemas, cada categoría se pondera y los puntos parciales se suman para obtener la puntuación global, estableciéndose cuatro niveles: más del 25% (pasa); más del 40% (bueno); más del 60% (muy bueno); más del 75% (excelente).

10.2. ENVISION

Surgido en 2012 en colaboración conjunta entre la *Harvard University Graduate School of Design* y el *Institute for Sustainable Infrastructure*, ambas instituciones de Estados Unidos [\[+\]](#). Se trata de un procedimiento similar a otros sistemas de evaluación de la sostenibilidad: se distribuye en varias categorías, con una serie de indicadores que cuentan con unos créditos en función del grado de cumplimiento de los mismos, que al final de la evaluación se suman y se obtiene una determinada clase o nivel (bronce $\geq 20\%$, plata, oro o platino $\geq 50\%$).

- 60 indicadores distribuidos en 5 categorías:
 - Calidad de vida: aspectos de confort individual, salud, movilidad y mejora de las condiciones de vida de la comunidad en la que se integrará la infraestructura;
 - Liderazgo: se valoran aspectos como que las partes interesadas en el proyecto puedan aportar nuevas ideas, se busquen sinergias, exista una visión a largo plazo;

- Distribución de recursos: optimización y minimización de recursos para la construcción del proyecto (energía, agua, etc.), se valúa la cantidad, origen y características de los materiales del proyecto;
 - Mundo natural: evitar construir en áreas con alto valor ecológico, evaluar el efecto del proyecto sobre el ciclo hidrológico de la zona, minimizar los impactos negativos en la flora y fauna del área afectada;
 - Clima y riesgo: minimización de emisiones, resiliencia y análisis de riesgos climáticos, adaptación a condiciones futuras.
- Cada indicador cuenta con 5 niveles de evaluación, según el grado de cumplimiento que se consiga;
 - Premia además iniciativas innovadoras con puntos adicionales;



Figura.- Tipologías de infraestructuras que se pueden evaluar con ENVISION

10.3. HQE

Siendo el único sistema principal de evaluación de la sostenibilidad que simultáneamente dispone de esquema para edificios e infraestructuras, [como vimos anteriormente](#).

Aplicación a cualquier tipo de transporte de personas, mercancías, energía y agua, o instalaciones de producción de energía: solar, presas, etc.

En el caso de los desarrollos urbanos, son tres categorías divididas a su vez en 17 indicadores, tales como territorio y contexto local, movilidad y accesibilidad, agua, energía y clima, residuos, economía del proyecto, o poder de atracción, dinámicos económicos y sectores locales.

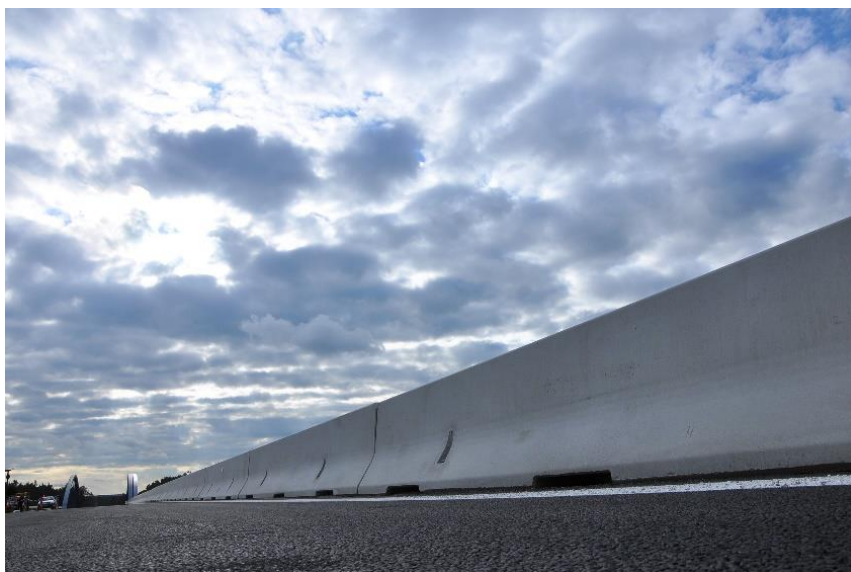
Y en el caso de las infraestructuras, son cuatro categorías (gestión responsable, sostenibilidad medioambiental, calidad de vida y rendimiento económico) divididos en 16 indicadores, algunos destacados como impactos y aceptabilidad de la obra, medios naturales y ecosistemas, cohesión social, economía y coste a largo plazo, o control de propiedad de la tierra.

La clasificación final se obtiene sumando los puntos obtenidos, determinándose cinco niveles: aceptable, bueno, muy bueno, excelente y excepcional.

10.4. SUNRA

El objetivo principal de SUNRA (*Sustainability — National Road Administrations*) ha sido definir un marco común para el desarrollo de una metodología de evaluación de la sostenibilidad de las carreteras a nivel europeo. Proporciona una serie de medidas con las que se pueden implementar mejoras conducentes a mejorar los impactos ambientales y económicos de una carretera tanto durante el proyecto como una vez puesta en servicio.

Esta metodología se obtuvo a raíz de un proyecto realizado en Europa entre 2011 y 2013 y tiene la intención de ser considerado por las autoridades que gestionan las redes nacionales de carreteras.



10.5. SAMCEW

La empresa FCC Construcción ha desarrollado SAMCEW© (*Sustainability Assessment Method for Civil Engineering Works*), una metodología interna para evaluar la sostenibilidad de las obras civiles (y área de influencia) que lleva a cabo esta multinacional constructora [4]. SAMCEW se plantea como un sistema de autoevaluación y calificación, que puede ser utilizado por las obras como un programa interno de gestión para planificar los trabajos de construcción, identificar las mejoras necesarias y compartir los avances en las prácticas sostenibles aplicadas.

La metodología contempla las dimensiones ambiental, social y económica del modelo de la sostenibilidad durante todas las etapas del ciclo de vida de la obra civil.

Esta metodología de evaluación flexible y personalizable, puede aplicarse a distintos tipos de obras civil, con diferentes casuísticas y que estén ubicadas en distintas localizaciones.

Se divide en un total de 15 categorías relacionadas con los tres ejes de la sostenibilidad:

- Ambiental: ecosistemas y biodiversidad, uso de recursos naturales, residuos, emisiones al medio ambiente, ruido y vibraciones;
- Social: participación y aceptación, patrimonio cultural, bienestar, efectos en la sociedad, riesgo y resiliencia;
- Económica: gestión de proyecto, ordenación del territorio, costes del ciclo de vida, externalidades, efectos en la economía local.

Un aspecto novedoso de SAMCEW es que la importancia relativa de cada categoría se personaliza en cada proyecto según las características específicas del mismo. Así pues, para definir el sistema de ponderación de las categorías del proyecto es necesario responder a un cuestionario inicial, que contempla aspectos como el tipo de obra civil evaluada, su localización, el entorno natural y social del mismo o las etapas que se deciden evaluar. Por ejemplo, los indicadores de una carretera que pase por un espacio protegido, no tienen por qué ser iguales que el de otra carretera que atravesase una ciudad.

Una vez evaluadas las categorías, generalmente en la etapa de construcción que es en la que interviene la empresa, se obtiene una nota que va desde bronce (30 a 45%) hasta platino (> 80%).

Actualmente, se ha realizado una prueba piloto en la obra del Metro de Riad (Arabia Saudí), una de las infraestructuras de mayor envergadura a nivel mundial. Uno de los objetivos de la empresa es aplicar la metodología propia para la evaluación de la sostenibilidad en algunas obras significativas de la compañía para calibrar la herramienta y exponer los principales resultados, tanto a nivel interno en la empresa, como en foros externos.

10.6. Normativa de infraestructuras sostenibles

La proliferación de estos sistemas de evaluación de origen privado ha motivado la necesidad de igual que en los edificios, normalizar las metodologías buscando un consenso lo más global posible. En este sentido se deben destacar las normas desarrolladas recientemente en los comités internacional (ISO) y europeo (CEN).

Norma ISO 21931-2

La Norma internacional ISO 21931-2 lleva por título “Sostenibilidad en la construcción de edificios – Marco para los métodos de evaluación del comportamiento ambiental de las obras de construcción – Parte 2: Obras de ingeniería civil”. Complementa a la Norma ISO 21931-1 centrada ésta en los edificios, definiendo el procedimiento de evaluación de la sostenibilidad de todos los tipos de infraestructuras tanto de nueva construcción como existentes.

Norma EN 15643-5

La Norma Europea EN 15643-5 lleva por título “Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios y las obras de ingeniería civil. Parte 5: Marco de principios específicos y requisitos para las obras de ingeniería civil.” y es resultado del trabajo llevado a cabo en el órgano europeo de normalización CEN/TC 350/WG 6. Tiene la particularidad de que integra en un único documento los componentes social, ambiental y económico de evaluación

de las infraestructuras, a diferencia de otras metodologías como las citadas anteriormente que se basan fundamentalmente en atender una única dimensión, generalmente la ambiental.



11. SISTEMAS DE EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

11.1. Código Estructural

La Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08, de aplicación en España hasta finales de 2021, incluía una metodología pionera a nivel mundial. El Anejo 13 de la EHE-08 definía un índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad (ICES) estableciendo una serie de criterios para cuantificar cuánto de sostenible tiene una estructura de hormigón.

El Código Estructural que ha sustituido junto a otras reglamentaciones a la EHE-08 [\[+\]](#), ha profundizado notablemente en cuanto a la definición de una metodología que permita obtener un valor que califique el grado de sostenibilidad de la estructura.

La evaluación de la sostenibilidad que presenta el Código Estructural puede ser complementaria a las consideraciones de sostenibilidad del edificio u obra de ingeniería civil completa, que debieran evaluarse mediante otras metodologías ya aplicables, como puede ser el caso de sistemas de certificación plenamente asentados en el mercado (LEED, BREEAM, VERDE, etc.)

Entre otros agentes que intervienen en la estructura a lo largo de su diseño, fabricación y ejecución, los fabricantes de elementos prefabricados de hormigón pueden contribuir a dotar a la estructura de un determinado grado de sostenibilidad, basado en cómo se cumplen un conjunto de indicadores o requisitos, relacionados con las dimensiones de ésta (ambientales, sociales, económicos y prestacionales) y que están dirigidos a cubrir distintos aspectos del proyecto y la construcción de la estructura.

El ICES se clasifica dentro de la siguiente escala:

Calificación ICES	
Muy alta	Más de 85 hasta 100
Alta	Más de 70 hasta 85
Baja	Más de 50 hasta 70

Es decir, un proyecto estructural podría fijar una determinada calificación o un valor mínimo, con lo que los distintos agentes participantes aportarían unos valores a partir del mayor o menor grado de cumplimiento de los indicadores que se presentarán a continuación.

El ICES se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$ICES = \sum_{i=1}^4 \alpha_i \cdot \sum_{j=1}^{11} \beta_{i,j} \cdot ICPS_{i,j}$$

Donde

α son los factores de composición tipológica, que tienen en cuenta la cantidad de elementos de cada tipología (ver tabla A2.1) y los pondera según su resistencia. Se definen 4 tipos de elementos según el campo de aplicación del Código Estructural ($i = 1$, elementos de hormigón armado in situ; $i = 2$, elementos de hormigón pretensado in situ; $i = 3$ elementos prefabricados de hormigón; $i = 4$, elementos de acero estructural), pudiendo coexistir en una estructura con otros elementos proporcionando cada tipología estructural un determinado grado de sostenibilidad que se agrega en la fórmula del ICES, como puede ser el caso de estructuras híbridas que puedan conformarse conjuntamente (por ejemplo, que pilares y vigas sean de acero ($i = 4$) y los forjados se resuelvan con placas alveolares ($i = 3$)). No obstante, si una estructura es prefabricada de hormigón íntegramente, α será igual a 1.

$$\alpha_i = \frac{\sum_{r=1}^n m_{r,i} \cdot R_{r,i}}{\sum_{r=1}^N m_r \cdot R_r}$$

β son los factores de contribución. En el caso de una estructura totalmente prefabricada de hormigón, la contribución de cada agente al cómputo del ICES sería la de la columna señalada en verde de la siguiente tabla (por ejemplo, el proyectista aportaría un 5% a la nota final, el proveedor de cemento del prefabricador un 27%, la construcción un 15%, etc.) En el caso del prefabricador, su aportación sería un 20% en el mejor de los casos, que es cuando (como es lo habitual) se encarga de fabricar el hormigón y de transformar el acero que empleará en la fabricación de sus propios elementos prefabricados. En caso de que externalice uno o los dos procesos, su contribución al ICES final se reduciría hasta un 13,4% (un proceso externalizado) o un 6,8% (los dos procesos externalizados).

Factores de contribución de proceso y producto $\beta_{i,j}$ [$\times 10^{-2}$]						
j	Proceso y producto		$\beta_{i,j}$ (según el tipo de elemento, i)			
			Tipo 1 Elementos de hormigón armado <i>in situ</i>	Tipo 2 Elementos de hormigón pretensado <i>in situ</i>	Tipo 3 Elementos prefabricados hormigón	Tipo 4 Elementos de acero estructural
1	Proyecto		5	5	5	5
2	Fabricación de productos básicos	Cemento	27	26	27	0
3		Áridos	3	3	3	0
4		Aditivos	3	3	3	0
5		Acero (1)	27	26	27	55/ 45 (4)
6	Fabricación de productos transformados	Hormigón preparado	10	10	0/ 6,6	0
7		Central de prefabricación (2)	0	0	20/ 13,4/ 6,6	0
8		Acero transformado (3)	10	4	0 /6,6	0/ 10 (4)
9		Taller de estructuras metálicas	0	0	0	25
10		Sistema de Pretensado "in situ" (5)	0	8	0	0
11	Construcción en obra		15	15	15	15

ICPS son los índices de contribución a la sostenibilidad para el proceso o producto j en el elemento i , y se obtiene a partir de la contribución del agente (ICAS) y del proyecto, producto u obra concreta (ICS). Se obtiene de la siguiente expresión:

$$ICPS_{i,j} = (\varepsilon_j^a \cdot ICAS_{j,n} + \varepsilon_j^c \cdot ICS_{j,n})$$

Donde

ε_a es 0,65 y ε_c es 0,35 para el caso del suministrador de elementos prefabricados de hormigón, siendo ambos factores de ponderación que multiplicarán al cómputo global de indicadores del agente (ICAS) y a los indicadores complementarios (ICS), respectivamente.

Se añade otra distribución de factores de ponderación relacionados con los indicadores seleccionados por cada agente según las tres dimensiones de la sostenibilidad (económica, medioambiental y social) junto con criterios de calidad o prestacionales, definiendo unos valores δ para los indicadores o requisitos del agente (CAS) y otros valores δ para los indicadores complementarios (CCS).

En lo que respecta a los indicadores principales del agente (CAS), en este caso el suministrador de los elementos prefabricados de hormigón:

$$ICAS_{j,n} = \sum_n^4 \delta_{j,n}^a \cdot CAS_{j,n}$$

Tipo de requisito	Prestacional	Económico	Medioambiental	Social
δ prefabricador	0,25	0,30	0,35	0,10

De lo que se deduce que los indicadores ambientales tendrán una importancia relativa del 35% con respecto al total, los económicos un 30%, los prestacionales un 25% y, por último, los sociales un 10%, para el caso del fabricante de elementos prefabricados de hormigón. El resto de los agentes participantes, igual que sucede con otros factores de ponderación, tienen distribuidos sus coeficientes con otros valores, siendo siempre la suma para cada caso igual a 1 (100%).

A continuación, para cada agente se calcula su contribución a la sostenibilidad asociada a cada tipo de requisito (prestacional, medioambiental, económico o social), de acuerdo con la siguiente expresión:

$$CAS_{j,n} = \frac{\sum_{l=1}^{10} \gamma_{j,l} \cdot \lambda_{j,l}^a}{\sum \gamma_{j,l}}$$

Donde

y es un factor de ponderación del criterio para cada agente. En el caso del prefabricador, para cada dimensión de la sostenibilidad se han seleccionado un conjunto de indicadores, en muchos casos comunes y aplicables a otros agentes:

Tabla A2.A.3.7
Factor de ponderación γ_{ij} e Indicadores ICAS (PREFABRICADOS DE HORMIGÓN, $j = 7$)

Tipo de requisitos	Criterios			Indicadores	
	Nº	Nombre	Factor de ponderación $\gamma_{j,i}$	Obligatorios	Voluntarios
Prestacionales	1	Calidad	1	1.1	
Económicos	1	Producción/productividad	0,1	2.1	-
	2	Índices de rentabilidad	0,6	2.3, 2.4	
	3	Inversiones	0,3	2.10	2.14
Medioambientales	1	Sistemas de Gestión	0,50	3.1	
	2	Emisiones GEI	-	-	-
	3	Materiales	0,1	3.12	-
	4	Energía	0,05	3.15	3.20
	5	Agua	0,05	3.24	
	6	Biodiversidad	-	-	-
	7	Otras emisiones	0,05	3.41	-
	8	Vertidos	0,06	3.42	-
	9	Residuos	0,12	3.48	3.50
	10	Otros aspectos ambientales	0,07	3.57, 3.66	3.56
Sociales	1	Empleo	0,25	4.1, 4.9	4.7
	2	Salud y seguridad laboral	0,30	4.13	4.10, 4.17
	3	Buen Gobierno, diversidad, igualdad y beneficios sociales	0,15	4.22	4.20
	4	Comunidad	0,05	4.24	-
	5	Satisfacción clientes	0,20	4.31	4.36
	6	Compras y empleo local	0,05	4.38	-

λ es la valoración de los indicadores obligatorios y voluntarios relativos al criterio y aplicables para el agente

De la tabla anterior, el grado de contribución del prefabricador a la determinación del ICES (hasta un 20% del total) vendrá determinada, por tanto, del cumplimiento en mayor o menor medida de este primer conjunto de indicadores (un 65% de importancia relativa).

Ejemplo práctico: La tabla siguiente permite estimar el grado de importancia relativo de cada indicador dentro del conjunto de indicadores principales:

Categoría	δ	Nº	Indicador	Peso relativo	Peso absoluto
Prestacionales	0,25	1	Calidad (ISO 9001)	1,00	16,25
Económicos	0,3	1	Producción/productividad	0,10	1,95
		2	Índices de rentabilidad	0,60	11,70
		3	Inversiones	0,30	5,85
Medioambientales	0,35	1	Sistemas de Gestión	0,50	11,38
		3	Materiales	0,10	2,28
		4	Energía	0,05	1,14
		5	Agua	0,05	1,14
		7	Otras emisiones	0,05	0,46
		8	Vertidos	0,06	1,37
		9	Residuos	0,12	2,73
		10	Otros aspectos ambientales	0,07	1,59
Sociales	0,1	1	Empleo	0,25	1,14
		2	Salud y seguridad laboral	0,30	0,49
		3	Buen Gobierno, diversidad, igualdad y beneficios sociales	0,15	0,20
		4	Comunidad	0,05	0,33
		5	Satisfacción clientes	0,20	0,65
		6	Compras y empleo local	0,05	0,33



Y en lo que respecta a los indicadores complementarios (ICS), el proceso de determinación es equivalente, aunque variando los indicadores seleccionados y los factores de ponderación:

$$ICS_{j,n} = \sum_n^4 \delta_{j,n}^c \cdot CCS_{j,n}$$

Tipo de requisito	Prestacional	Económico	Medioambiental	Social
δ prefabricador	0,50	-	0,50	-

Por tanto, en este caso tanto los indicadores prestacionales como los medioambientales tienen un peso relativo del 50% cada uno, no incluyéndose en este caso requisitos de tipo económico o social.

Igualmente, para cada agente se calcula su contribución a la sostenibilidad asociada a cada tipo de requisito (prestacional y medioambiental, en este caso), de acuerdo con la siguiente expresión:

$$CCS_{j,n} = \frac{\sum_{l=1}^7 \gamma_{j,l} \cdot \lambda_{j,l}^c}{\sum \gamma_{j,l}}$$

Donde

γ es un factor de ponderación del criterio para el agente. En el caso del prefabricador:

Tabla A2.B.3.7

Factor de ponderación γ e indicadores ICS (PREFABRICADOS DE HORMIGÓN, $j = 7$)										
Tipo de requisitos	Criterios		A		B		C		D	
	Nº	Nombre	Factor de ponderación γ_{ij}	Indicadores	Factor de ponderación γ_{ij}	Indicadores	Factor de ponderación γ_{ij}	Indicadores	Factor de ponderación γ_{ij}	Indicadores
Prestacionales	1	(DOOR)	0,6	1.1	0,7	1.1	0,6	1.1	0,7	1.1
	2	Control estadístico	0,15	1.9			0,15	1.9		
	3	Seguro Responsabilidad Civil	0,25	1.10	0,3	1.10	0,25	1.10	0,3	1.10
Económicos	N/A									
	1	DAP	0,4	3.2	0,53	3.2	0,53	3.2	0,57	3.2
Medioambientales	2	Uso de material reciclado	0,2	3.3, 3.4	0,26	3.3, 3.4			0,29	3.3, 3.4
	3	Minimización de recursos	0,05	3.9	0,07	3.9	0,07	3.9	0,07	3.9
	4	Residuos contenido azufre	0,05	3.15	0,07	3.15				
	5	Disminución de residuos	0,05	3.18			0,07	3.18		
	6	Distancia instalación obra	0,05	3.19	0,07	3.19	0,07	3.19	0,07	3.19
	7	Contenido de chatarra en transformados	0,20	3.20			0,26	3.20		
Sociales	N/A									

Donde se observa que se los factores de ponderación se agrupan en cuatro distribuciones distintas en función de la capacidad productiva del prefabricador:

A. Procesos de prefabricación, fabricación del hormigón y de la ferralla.

B. Procesos de prefabricación y fabricación del hormigón.

C. Procesos de prefabricación y fabricación de la ferralla.

D. Procesos de prefabricación únicamente.

λ es la valoración de los indicadores obligatorios y voluntarios relativos al criterio y aplicables para el agente

Del mismo modo que en los indicadores principales, el grado de contribución del prefabricador a la determinación del ICES (hasta un 20% del total) vendrá determinada, por tanto, del cumplimiento en mayor o menor medida de este segundo conjunto de indicadores (el 35% restante de importancia relativa).

Ejemplo práctico: La tabla siguiente, de elaboración propia, permite estimar el grado de importancia relativo de cada indicador en este conjunto de indicadores principales:

ICS	δ	Nº	Indicador	Peso relativo	Peso absoluto
Prestacionales	0,5	1	(DOR)	0,60	10,50
		2	Control estadístico	0,15	2,63
		3	Seguro Responsabilidad Civil	0,25	4,38
Medioambientales	0,5	1	DAP	0,40	7,00
		2	Uso de material reciclado	0,20	3,50
		3	Minimización de recursos	0,05	0,44
		4	Residuos contenido azufre	0,05	0,88
		5	Disminución de residuos	0,05	0,88
		6	Distancia instalación/obra	0,05	0,88
		7	Contenido de chatarra en transformados	0,20	3,50

Para dar fiabilidad a los datos que servirán para verificar el cumplimiento de los indicadores y la determinación del ICES, se necesita un proceso de certificación por parte de un organismo externo. Para ello, se han creado los Distintivos de sostenibilidad oficialmente reconocidos (DSOR) donde los agentes intervinientes (como puede ser el caso del prefabricador) deberán transmitir la información necesaria para la obtención del índice de contribución de cada producto o proceso a la sostenibilidad (ICPS).



Mejora de la seguridad en la ejecución mediante elementos prefabricados de hormigón

Uno de los grandes rasgos característicos de la construcción industrializada con elementos prefabricados de hormigón es el mayor orden y mejor planificación en la fase de ejecución, frente a la construcción más tradicional donde fábrica y obra coinciden en el mismo espacio, obligando a personas, máquinas y materiales interaccionar constantemente, repercutiendo de forma adversa en la normal ejecución de muchas tareas de la obra.

Entre los principios básicos de las reglamentaciones de prevención de riesgos laborales está la integración de la prevención desde la fase de diseño.

El estudio “Buenas prácticas preventivas en el uso de prefabricados de hormigón” demostró cuantitativamente una mejora significativa en cuanto a la seguridad, comparando dos sistemas constructivos equivalentes, un forjado y un muro, resueltos en un caso de forma tradicional o in situ, y el otro de forma industrializada.

Entre otros, la disposición de mano de obra necesaria para el montaje de elementos prefabricados resulta inferior a la que se necesitaría para la conformación de esos mismos elementos in situ en la obra, lo que implica ya de forma generalizada un menor tiempo de exposición. Otra consideración que marca importantes diferencias es que en la obra in situ se ponen en uso muchos más materiales y medios auxiliares: ferralla, encofrados, hormigón, herramientas eléctricas, andamios y plataformas de trabajo, equipos de elevación, maquinaria y vehículos para transporte y puesta en obra de encofrados, armaduras y hormigones, etc. En el caso de la puesta en obra de elementos prefabricados los medios materiales son mucho más reducidos, basta considerar los vehículos de transporte, los equipos de elevación y puesta en obra y los propios elementos prefabricados.

- Ejecución del muro:

	Industrializado	Tradicional	% Industrializado/tradicional
Análisis de riesgos	252	502	↓ 49,80 %

Se produce una reducción de los riesgos y sus consecuencias del muro industrializado frente



al tradicional del 49,80%, o determinado de otra forma, la ejecución industrializada es el doble de segura que la ejecución in situ del muro.

▪ Ejecución del forjado:

	Industrializado	Tradicional	% Industrializado/tradicional
Análisis de riesgos	323	443	↓ 27,09 %



Se produce una reducción de los riesgos y sus consecuencias del forjado resuelto mediante placas alveolares frente al forjado construido in situ del 27,09%.

Fuente: “Buenas prácticas preventivas en el uso de prefabricados de hormigón”. Fundación Agustín de Betancourt de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y el Instituto Regional de Seguridad y Salud en el Trabajo Consejería de Empleo, Turismo y Cultura Comunidad de Madrid. 2012 [\[+\]](#)



11.2. Código Modelo

El “*Model Code FIB 2010 for Concrete Structures*”, publicado por la FIB (Federación Internacional del Hormigón) incluye también a la sostenibilidad como uno de los requisitos exigibles a la estructura, pero no recoge instrumentos de medida o cuantificación como sí hace la Instrucción EHE-08, limitándose a aplicar lo que se podrían denominar como “buenas prácticas medioambientales para la estructura”.

11.3. Norma ISO 13315-1

Como en el caso del Código Modelo, la norma internacional ISO 13315-1:2012 “Gestión ambiental del hormigón y de las estructuras de hormigón” tampoco se puede catalogar como un sistema de evaluación, teniendo como objetivo proporcionar las normas básicas de la gestión

ambiental del hormigón y las estructuras de hormigón. Esto ayudará a los propietarios, diseñadores, fabricantes, constructores, usuarios, organismos de certificación, desarrolladores de estándares medioambientales, etc. que emplean el primer material de construcción universal.

La norma tiene por objeto contribuir a la mejora continua de los impactos ambientales (agua, energía, cemento y acero; los cuales emiten grandes cantidades de CO₂ a la atmosfera en sus procesos de producción) derivados de actividades relacionadas con el hormigón. Además de que se garantiza la coherencia con la serie ISO 14000 sobre gestión ambiental.

En la Norma ISO 13315-1 se hace referencia a todo el ciclo de vida de las estructuras de hormigón, incluyendo: diseño, producción, reciclaje y disposición de dicho material. Así como el proceso de construcción, uso y demolición.

VÍDEOS

Se recogen a continuación los vídeos del ciclo “ANDECE con paso verde” celebrado a primeros de 2021, en el que se han presentado los principales sistemas de evaluación de la sostenibilidad en edificios, reuniendo a algunos de los expertos más destacados en esta materia:

Introducción a los sistemas de certificación de sostenibilidad	https://youtu.be/8cyHIPqSN4Q
BREEAM el certificado de construcción sostenible	https://youtu.be/Dy_VEzvHk4
LEED herramienta de certificación de edificación sostenible	https://youtu.be/RrH4AnSuTz4
VERDE: la certificación de sostenibilidad en edificios desarrollada por GBCe	https://youtu.be/EoQdZEsCi8E
DGNB herramienta de planeamiento y optimización para evaluación de edificios y distritos sostenibles	https://youtu.be/jKlamkustlA
WELL certificación de edificios centrada exclusivamente en la salud y el confort de las personas	https://youtu.be/IKfRQDuZgiU
La certificación sostenible HQE	https://youtu.be/XfqpwwOFUBA
LEVEL(s) marco innovador para edificios sostenibles de la Comisión Europea	https://youtu.be/C6D-KG4A0P8

REFERENCIAS

- “Ciudades esponja: potencial de las soluciones constructivas con elementos prefabricados de hormigón”. OBRAS URBANAS [\[+\]](#)
- “Pavimentos mediante elementos prefabricados de hormigón: análisis del estado actual y proyección atendiendo a su contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible”. CEMENTO HORMIGÓN [\[+\]](#)
- “Canalizaciones prefabricadas de hormigón: una nueva visión desde su contribución a la sostenibilidad”. TECNOAQUA [\[+\]](#)
- “Estructuras prefabricadas de hormigón: una nueva visión desde su contribución a la sostenibilidad”. Ecoconstrucción [\[+\]](#)
- “Declaraciones ambientales de productos prefabricados de hormigón (y 2ª parte)”. Ecoconstrucción [\[+\]](#)
- “Hacia el objetivo de los edificios de consumo de energía casi nulo: la masa térmica en los prefabricados de hormigón”. Ecoconstrucción [\[+\]](#)
- “Hacia la sostenibilidad en la obra civil con soluciones prefabricadas de hormigón”. CPI [\[+\]](#)
- “Economía circular en los prefabricados de hormigón: hacia el objetivo ‘cero residuos’”. CEMENTO HORMIGÓN [\[+\]](#)
- Manual de aplicación de la inercia térmica. IECA. 2020 [\[+\]](#)
- DGNB. Ecoconstrucción [\[+\]](#)

BIBLIOGRAFÍA ANDECE

- Guía de Aplicación de las Autodeclaraciones Ambientales de Productos Prefabricados de Hormigón [\[+\]](#)
- Guía técnica de aplicación del CTE a los elementos prefabricados de hormigón. ANDECE. 2020 [\[+\]](#)
- Blog ANDECE [\[+\]](#)
- Guías técnicas de productos prefabricados de hormigón. ANDECE [\[+\]](#)
- Guía BIM para empresas de prefabricados de hormigón. ANDECE [\[+\]](#)
- Relación de fabricantes asociados de ANDECE [\[+\]](#)
- Relación de socios adheridos de ANDECE [\[+\]](#)
- Máster de construcción industrializada en hormigón [\[+\]](#)