

Contribución del hormigón reforzado con fibras a los objetivos de desarrollo sostenible

Contribution of Fiber-Reinforced Concrete to the Sustainable Development Goals

MARÍA ANTONIA QUESADA BLASCO

VICTORIA GIMENO XIPELL

ELISA VALERO RAMOS

María Antonia Quesada Blasco, Victoria Gimeno Xipell, Elisa Valero Ramos, "Contribución del hormigón reforzado con fibras a los objetivos de desarrollo sostenible", ZARCH 25 (diciembre 2025): 242-253. ISSN versión impresa: 2341-0531 / ISSN versión digital: 2387-0346. Doi: 10.26754/ojs_zarch/zarch.20252511253

Recibido: 28-11-2024 / Aceptado: 07-08-2025

Resumen

El desarrollo de elementos estructurales prefabricados de hormigón reforzado con fibras (HRF) aplicados a la arquitectura es una línea de innovación alineada con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). Este artículo pone en relación sus características con las Metas de los ODS vinculadas a la construcción. Dada la importancia de la producción y consumo del hormigón, universalmente asequible y disponible y a la vez caracterizado por una alta huella de carbono, las propuestas de reducción de las emisiones de CO₂ en la fabricación y uso de este material suponen un impacto altamente positivo en el medio ambiente. El HRF puede adaptarse a diferentes niveles tecnológicos, condiciones climáticas y presupuestos, posibilitando la transferencia de la innovación a países con alta vulnerabilidad social, también prioridad de la Agenda 2030. Disminuir la dependencia del acero en países donde no se produce facilita que pequeños fabricantes puedan construir estructuras eficientes con recursos cercanos.

Palabras clave: Prefabricados de hormigón; Construcción; Objetivos de desarrollo sostenible (ODS); Vulnerabilidad; Hormigón reforzado con fibras (HRF); Industrialización

Abstract

The development of fiber-reinforced concrete (FRC) structural precast elements for use in architecture is an innovative line of research that aligns with the Sustainable Development Goals (SDGs) of the 2030 Agenda. This article explores the link between their characteristics and the SDG targets related to construction. Given the importance of the production and consumption of concrete, which is universally affordable and available yet characterized by a high carbon footprint, proposals to reduce CO₂ emissions in the production and use of this material could have a highly positive environmental impact. FRC can be adapted to different levels of technology, climatic conditions and budgets: this enables innovation to be transferred to countries with high social vulnerability, a key priority of the 2030 Agenda. Reducing dependence on steel in countries where it is not produced enables small manufacturers to build efficient structures using nearby resources.

Keywords: Precast concrete; Construction; Sustainable Development Goals (SDGs); Vulnerability; Fiber-reinforced concrete (FRC); Industrialization

María Antonia Quesada Blasco (Madrid, 1959) es Licenciada en Ciencias Químicas, especialidad Química Analítica por la Universidad Autónoma de Madrid (1981). Dedicada a otros campos profesionales, en 2021 finaliza el Máster Oficial de Bioética en la Universidad Católica de Murcia (UCAM) y enfoca su investigación hacia la Bioética Social. Actualmente es PhD del Programa Ciencias de la Salud de la UCAM (Campus de Los Jerónimos nº135, Guadalupe 30107, Murcia, España) y realiza su tesis doctoral sobre Vulnerabilidad y Agenda 2030. ORCID: 0009-0001-1748-4115

Victoria Gimeno Xipell (Barcelona, 1988) es Arquitecta por la Universidad de Girona (2014). Miembro del Grupo de Investigación RNM909 Vivienda eficiente y reciclaje urbano. Tras trabajar como arquitecta en Barcelona y en Granada, actualmente es doctoranda en la Escuela de Doctorado de Ciencias, Tecnologías e Ingenierías de la Universidad de Granada. Centra su investigación en la optimización a través de la geometría de los prefabricados de hormigón reforzado con fibra para su uso estructural en arquitectura. ORCID: 0009-0001-4724-9239

Elisa Valero Ramos (Ciudad Real, 1971) es Arquitecta por la Universidad de Valladolid (1996) y doctora arquitecta por la Universidad de Granada (2000). Catedrática de Proyectos Arquitectónicos en la ETSA de Granada desde 2012. Directora del grupo RNM909 desde el que investiga para desarrollar sistemas de construcción de bajo coste y baja energía. Su obra construida ha sido premiada en Italia, Francia, Suiza y España y publicada ampliamente en libros y revistas. Profesora visitante en más de veinticinco escuelas de Europa y América y autora de una decena de libros entre los que destacan "La teoría del diamante y el proyecto de arquitectura" y "Light in Architecture, the Intangible Material". Convencida de la urgente necesidad de respetar la naturaleza, explora caminos nuevos para la arquitectura que la han hecho merecedora del Swiss Architectural Award en 2018 y del Premio Andalucía de Arquitectura en la modalidad innovación y construcción en 2022. ORCID: 0000-0002-9438-058X

Introducción

“La capacidad natural de regeneración del planeta no ha podido contrarrestar el aumento exponencial de la extracción de recursos, que se desechan rápidamente en la atmósfera, masas de agua y tierra. El sistema mundial e interconectado de la naturaleza se ha desequilibrado y está alcanzando un punto de ruptura.”¹

Las catástrofes naturales –muchas veces fruto del cambio climático- y las consecuencias de los conflictos bélicos, tanto en la destrucción de ciudades, infraestructuras y ecosistemas, como en las migraciones de las personas afectadas, no son ajenos a la arquitectura y el urbanismo. Un mundo globalizado reclama una respuesta en términos de ayuda y colaboración. Se precisa fortalecer la investigación, la innovación y la transferencia de tecnología a los países más vulnerables. Una vía para lograrlo es explorar las posibilidades que ofrecen los nuevos materiales y las nuevas tecnologías.²

El hormigón reforzado con fibras o HRF es uno de estos nuevos materiales. Se caracteriza por incluir en su composición fibras cortas, discretas y distribuidas aleatoriamente en su masa que, además de contribuir al control de la fisuración, pueden adquirir responsabilidad estructural sustituyendo o complementando el tradicional refuerzo de barras de acero³, con lo que se podría reducir el consumo de este material y contribuir a paliar algunos de los problemas medioambientales y socioambientales existentes.

- 1 Unión Europea: Comisión Europea, Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones sobre un marco de seguimiento revisado para la economía circular, SWD 306 final, (2023)
- 2 Borja Regúlez y otros, “Sustainability in construction: The urgent need for a new ethics,” *Structural Concrete* 24, no. 2 (2023), 1893–913
- 3 Nikola Tasic, Stanislav Aidarov y Albert de la Fuente, “Systematic Review on the Creep of Fiber-Reinforced Concrete,” *Materials* 13, no. 22 (Nov, 2020), 5098
- 4 Chenggong Zhao y otros, “Research on different types of fiber reinforced concrete in recent years: An overview,” *Construction and Building Materials* 365 (2023), 130075
- 5 A. Blanco Álvarez y otros, “Análisis comparativo de los modelos constitutivos del hormigón reforzado con fibras,” *Hormigón Y Acero* 61, no. 256 (2010)
- 6 Petr Hajek, “Sustainability perspective in fib MC2020: Contribution of concrete structures to sustainability,” *Structural Concrete* 24, no. 4 (2023), 4352–61
- 7 Naciones Unidas, Asamblea General. Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. A/RES/70/1, (2015)
- 8 Naciones Unidas, Asamblea General. Marco de indicadores mundiales para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y metas de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. A/RES/71/313, (2017)
- 9 E-Handbook on Sustainable Development Goals Indicators. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. División estadística. New York, USA, 2023
- 10 CE. Código Estructural. Real Decreto 470/2021 del 29 de junio. Ministerios de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana y de Industria, Comercio y Turismo. España, (2021)

Desde los inicios de la prefabricación en hormigón se han desarrollado elementos y procesos que están muy consolidados, pero la gran inercia del sector dificulta la incorporación de los avances tecnológicos resultantes de la investigación del hormigón reforzado con fibras.⁴ A pesar de la desigual normativa que permite el uso de esta tecnología⁵, la aplicación del HRF en la prefabricación de elementos estructurales en la arquitectura, aún incipiente, podría ayudar en la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030.⁶

El documento de Naciones Unidas “Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”⁷ entró en vigor en enero de 2016 y marcó un plazo de 15 años para implementar sus 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, atendiendo la perspectiva económica, social y medioambiental. Para lograr una mayor operatividad en el cumplimiento de los Objetivos y facilitar su evaluación y seguimiento se definieron 169 Metas, y dos años después, 231 Indicadores para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y Metas de la Agenda 2030”.⁸ Esos Indicadores rigurosos, basados en datos de calidad, accesibles, fiables y desglosados, fueron desarrollados por la división estadística de la ONU, un trabajo que está recogido en el “Manual de Indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible”.⁹

El seguimiento de la implementación de los ODS es un proceso complejo porque supone medir 231 Indicadores en 241 países y determinar el punto focal de medición y el medidor autorizado para realizarla. Con la información obtenida se elaboran las tablas mundiales de datos, que se analizan en los informes anuales de progreso de los ODS, preparados por el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas en colaboración con su Sistema Estadístico y presentados en el Informe correspondiente. La Agenda 2030, a través de la valoración de la implementación de los Objetivos y Metas, marca líneas para definir políticas y acciones.

El presente artículo, consciente de su limitación, pone en relación las características de los prefabricados estructurales de HRF que utilizan fibras incluidas en el Anejo 7 del Código Estructural¹⁰, exceptuando las de acero, con los ODS y Metas vinculados al sector de la construcción. Su aportación específica es precisamente esa relación ya que, con los datos oficiales de los documentos de Naciones

MARÍA ANTONIA QUESADA BLASCO

VICTORIA GIMENO XIPELL

ELISA VALERO RAMOS

Contribución del hormigón reforzado con fibras
a los objetivos de desarrollo sostenibleContribution of Fiber-Reinforced Concrete
to the Sustainable Development Goals

Figura 1. Fábrica de prefabricados de hormigón en Yaundé, Camerún, 2024. Fuente: elaboración propia.

Unidas, se analiza el avance en la implementación de cada uno de los Objetivos y Metas implicados y se valora la eficacia de la utilización de los HRF.

Una información clara y rigurosa nos la ofrecen los Informes “Progresos realizados para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible” de abril 2023¹¹ y junio 2024¹², los datos del anexo estadístico del 2023 y las ediciones especiales de esos Informes, correspondientes al 2023 y 2024¹³ donde se hacen evaluaciones en base a los últimos datos y estimaciones disponibles.

La protección y la integración de las personas vulnerables y de los países en situaciones de vulnerabilidad ocupa un lugar preferencial en la Agenda 2030, que señala que “al emprender juntos este viaje, prometemos que nadie quedará atrás”.¹⁴ En todos los ODS hay metas específicas para ayudar a los más vulnerables.

Los prefabricados de HRF y su relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Los ODS afectados por el sector de la construcción son: ODS 9 “Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación”; ODS 11 “Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles”; ODS 8 “Promover el crecimien-

11 Naciones Unidas, Asamblea General. Progresos realizados para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible: hacia un plan de rescate para las personas y el planeta. A/78/80-E/2023/64, (2023d)

12 Naciones Unidas, Asamblea General. Informe del Secretario General. Progresos realizados para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible. A/79/79-E/2024/54, (2024b)

13 Naciones Unidas, Asamblea General. Informe del Secretario General. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Edición especial 2024, (2024a)

14 Naciones Unidas, Asamblea General. Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. A/RES/70/1, 1

to económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos”; ODS 12 “Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles”; y ODS 13 “Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos”. Las Metas de esos ODS con mayor vinculación a la construcción, y los Indicadores para medir la implementación de las mismas, se muestran en la Tabla 1.

ODS 9	Meta 9.4	Indicador 9.4.1	Emisiones CO ₂ por unidad de valor añadido
	Meta 9.a	Indicador 9.a.1	Apoyo internacional oficial dedicado a infraestructuras
ODS 11	Meta 11.1	Indicador 11.1.1	Población urbana que vive en barrios marginales
	Meta 11. b	Indicador 11.b.1	Países que adoptan estrategias de reducción riesgos desastres
ODS 8	Meta 8.4	Indicador 8.4.1	Huella material
		Indicador 8.4.2	Consumo material interno
ODS 12	Meta 12.2	Indicador 12.2.1	Ídem a Indicador 8.4.1
		Indicador 12.2.2	Ídem a Indicador 8.4.2
ODS 13	Meta 13.1	Indicador 13.1.2	Ídem a Indicador 11. b. 1
	Meta 13.a	Indicador 13.a.1	Dinero movilizado para cumplir compromiso países en desarrollo

Tabla 1. ODS, Metas e Indicadores relacionados con sector de la construcción. Fuente: elaboración propia

Relación del HRF con los ODS 9 y 11: Industrialización sostenible. Infraestructuras resilientes. Ciudades inclusivas y seguras

El ODS 9 y el ODS 11 marcan los retos más acuciantes del sector. En ambos casos convergen los conceptos “resilientes”, “sostenibles”, “inclusivos”, “seguros”, que son objetivos a lograr en una industrialización de futuro en la que se requiere innovación para subsanar las deficiencias actuales.

La investigación y la innovación - señaladas en el ODS 9- cobran especial relevancia cuando se refieren a nuevos materiales y técnicas de fabricación que afectan a la industria del hormigón, el segundo material de construcción más utilizado en el mundo después del agua, y a la prefabricación como medio eficaz para optimizar el consumo de recursos.¹⁵

La Meta 9.4. del ODS 9 propone “modernizar infraestructuras y reconvertir industrias para que sean sostenibles”. Para ello se requiere utilizar los recursos con mayor eficacia y adoptar tecnologías y procesos industriales limpios y sostenibles. El Indicador asociado a esta Meta es el 9.4.1: “emisiones de CO₂ por unidad de valor añadido”.

El Informe de Progreso de los ODS del 2023 señalaba que la situación no era buena: “En el año 2022, las emisiones mundiales de CO₂ de la combustión de energía y los procesos industriales aumentaron un 0,9 % y alcanzaron una cifra sin precedentes de 36.800 millones de toneladas métricas. Después de una reducción del 5 % durante la pandemia en 2020, las emisiones aumentaron el 6 % en 2021, superando los niveles anteriores a la misma”¹⁶. El Informe de Progreso Ampliado del 2024¹⁷ reitera la necesidad de desarrollar tecnologías que minimicen las emisiones de carbono.¹⁸

Dada la importancia de la producción y consumo del hormigón, universalmente asequible y disponible y a la vez caracterizado por una alta huella de carbono, toda investigación que vaya en la línea de reducir las emisiones de CO₂ en la fabricación y uso de este material tendrá un impacto altamente positivo en el medio ambiente.¹⁹ Los sistemas de construcción con prefabricados de HRF como alternativa al hormigón tradicional permiten reducir estas emisiones porque gracias a un mayor control de calidad se optimiza el consumo de material y se reducen significativamente las pérdidas de cemento en el proceso de manipulación y transporte de los sacos de la construcción in situ.

15 Karen L. Scrivener, Vanderley M. John y Ellis M. Gartner, “Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry,” *Cement and Concrete Research* 114 (2018)

16 Naciones Unidas, Asamblea General. Informe del Secretario General. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Edición especial 2023, (2023a), pág. 30.

17 Informe de la División Estadística de Naciones Unidas (UNSD) que incluye todos los contenidos de los informes para cada indicador proporcionados por los organismos custodios encargados de los ODS a 30 de abril del 2024.

18 Naciones Unidas, Asamblea General. Informe del Secretario General. The Sustainable Development Goals Extended Report 2024, (2024c), Goal 9, pág. 7

19 G. Habert y otros, “Environmental impacts and decarbonization strategies in the cement and concrete industries,” *Nature Reviews Earth & Environment* 1, no. 11 (2020), 559–73

MARÍA ANTONIA QUESADA BLASCO

VICTORIA GIMENO XIPELL

ELISA VALERO RAMOS

Contribución del hormigón reforzado con fibras a los objetivos de desarrollo sostenible

Contribution of Fiber-Reinforced Concrete to the Sustainable Development Goals

Si a los beneficios generales que proporciona la prefabricación en hormigón al sector de la construcción se añaden las ventajas del hormigón con fibras, queda patente la contribución a la descarbonización de la industria que pueden aportar estos nuevos sistemas constructivos.

El hormigón con fibras, al no estar condicionado por la presencia de las barras de acero, permite una mayor libertad en su geometría a fin de optimizar su capacidad estructural y no requiere el recubrimiento de hormigón que la normativa exige como protección contra la corrosión de las armaduras. Un adecuado diseño que optimice las secciones estructurales puede permitir una notable reducción del consumo de material, lo que de forma directamente proporcional reduce la huella de carbono.²⁰ A esto cabe añadir que la alta demanda de acero hace del sector de la siderurgia el mayor emisor industrial de CO₂: la producción de hierro y acero libera unos 2.600 millones de toneladas de CO₂ al año, siendo responsable de hasta un 31 % de las emisiones industriales.²¹ Además, en los países donde no se produce acero la huella de carbono de este material se incrementa notablemente por el transporte.

Reducir la demanda de acero²² y alargar la vida útil de las estructuras eliminando la corrosión como primera causa de patologías en el hormigón posibilita que la huella de carbono se pueda reducir de forma sustancial.

En relación con el ODS 11, los prefabricados HRF pueden contribuir a proporcionar viviendas asequibles, reduciendo la pobreza y aumentando la calidad de vida en las ciudades. Los sistemas constructivos con HRF, reduciendo el consumo de materiales y por ende el coste de construcción, pueden facilitar la dotación de parques de vivienda digna y la modernización de las ciudades.

La meta 11.1 propone “asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles y mejorar los barrios marginales”. El Indicador 11.1.1 vinculado a esta Meta, mide “la proporción de la población urbana que vive en barrios marginales, asentamientos informales o viviendas inadecuadas”. Más de la mitad (60,9 %) de la población urbana de los países menos adelantados (PMA) vive en barrios marginales o asentamientos informales.²³ Esto evidencia la necesidad crítica de explorar nuevos sistemas y tecnologías de construcción adecuados para atender las necesidades de vivienda en estos países.

Incidencia de la fabricación con HRF en los ODS 8 y 12: Producción y consumo eficiente de los recursos mundiales. Crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible.

El crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, y el empleo pleno y productivo que se plantean en el ODS 8 son un reto para el sector de la construcción. Al ser éste un sector básico en el desarrollo económico, la innovación y optimización de recursos facilita que el crecimiento económico de las ciudades o países sea más sostenido.

La introducción de los prefabricados de HRF en el mercado requeriría cambios en términos de producción y la transferencia de nuevas tecnologías. Implicaría la promoción del trabajo digno y el crecimiento económico incidiendo en la Meta 8.2 “mejorar la productividad económica mediante la diversificación, la modernización tecnológica y la innovación”, la Meta 8.3 “promover políticas que apoyen las actividades productivas, la creación de puestos de trabajo decentes, el emprendimiento, la creatividad y la innovación” y la Meta 8.4 “mejorar progresivamente, de aquí a 2030, la producción y el consumo eficientes de los recursos mundiales y procurar desvincular el crecimiento económico de la degradación del medio ambiente”.

20 (IPCC) Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2022 - Mitigation of Climate Change: Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press., (2023)

21 D. Leeson y otros, “A Techno-economic analysis and systematic review of carbon capture and storage (CCS) applied to the iron and steel, cement, oil refining and pulp and paper industries, as well as other high purity sources,” International Journal of Greenhouse Gas Control 61 (2017), 71–84

22 A. Blanco y otros, “Influence of the Type of Fiber on the Structural Response and Design of FRC Slabs,” Journal of Structural Engineering 142, no. 9 (2016), 04016054

23 Naciones Unidas, Asamblea General. Informe del Secretario General. The Sustainable Development Goals Extended Report 2024, Goal 11, pág. 3

Priorizar la construcción de infraestructuras y edificios más duraderos y eficientes, que consuman menos, reciclen más y lleguen a ser más sostenibles contribuye

también al ODS 12 “Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles” y la Meta 12.2 “Lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales”.

Las ventajas que ofrecen los sistemas basados en HRF relacionadas con este ODS son muchas: las fibras pueden proporcionar resistencia a flexión y a tracción al hormigón sin necesidad de acero²⁴, mejorando su rendimiento y capacidad de carga. Como armadura de refuerzo distribuyen la tensión y evitan las grietas²⁵; tienen alta resistencia a la fisuración por fluctuaciones de temperatura y por retracción, por lo que pueden soportar condiciones ambientales duras²⁶; ofrecen mayor resistencia a los ataques químicos y la intemperie. Por la eliminación del riesgo de corrosión se prolonga la vida útil de las estructuras y se reducen los costes de mantenimiento, lo que es especialmente relevante en zonas costeras o de alto porcentaje de humedad.²⁷

La alta durabilidad de los prefabricados de HRF minimiza la generación de residuos de construcción y reduce el impacto medioambiental. Por otro lado, la posibilidad de incorporar materiales reciclados a la mezcla de hormigón²⁸ promueve la economía circular y la reducción de residuos. Esta reciclabilidad es ya una realidad en elementos con requerimiento estructural poco exigente y tiene grandes posibilidades de futuro en estructuras más complejas. Especialmente interesantes son los reciclajes de algunos tipos de plásticos, que pueden aportar resistencia, y la posibilidad del aprovechamiento de fibras de polipropileno recuperadas durante el reciclado del hormigón o embebidas en áridos reciclados para el refuerzo en nuevos hormigones.²⁹

La importación de acero para la construcción de infraestructuras es uno de los productos que agrava el desequilibrio de la huella material de los países. En algunos casos, se podría reducir drásticamente la huella material de las estructuras de hormigón si se considera que con 6 kg de fibras plásticas por m³ de hormigón se puede alcanzar la misma resistencia que con 240 kg de acero por m³ de hormigón armado convencional.

El ODS 8 y el ODS 12 comparten Indicadores para la medición del avance en la implementación de sus Metas. El consumo interno de materiales (DMC) y la Huella de Materiales (MF) deben considerarse en combinación, ya que cubren dos aspectos de la economía (producción y consumo) que informan la cantidad virtual necesaria en toda la cadena de suministro para satisfacer la demanda final. El informe de progreso de los ODS del 2023 comenta: “Entre los años 2000 y 2019, el consumo nacional de materiales a nivel mundial —la cantidad de materias primas utilizadas directamente para los procesos de producción en un país— aumentó en un 66 %, triplicándose desde la década de 1970 hasta alcanzar los 95.100 millones de toneladas métricas. La huella material per cápita en los países de altos ingresos es 10 veces mayor que la de los países de bajos ingresos”.³⁰

Estas desigualdades reflejan las diferencias de consumo entre los países orientados a la importación y aquellos orientados a la exportación. La posibilidad de sistemas constructivos que reduzcan sustancialmente el uso del acero minimizaría la dependencia de la importación de este material en los países que no lo producen, como es el caso de los países de África subsahariana que importan su acero mayoritariamente de China.

Por otro lado, también beneficiaría a países en los que la huella material supera el consumo nacional de materiales, por lo que dependen de las materias primas del resto del mundo. Según la Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo sobre un marco de seguimiento revisado para la economía circular, “en 2021, la UE importó 1 600 millones de toneladas de materiales del resto del mundo. Los minerales metálicos y los materiales energéticos fósiles conformaron el 58 % de estas

24 Luca Facconi y Fausto Minelli, “Verification of structural elements made of FRC only: A critical discussion and proposal of a novel analytical method,” *Engineering Structures* 131 (2017), 530–41

25 Pablo Pujadas y otros, “Plastic fibres as the only reinforcement for flat suspended slabs: Experimental investigation and numerical simulation,” *Construction and Building Materials* 57 (2014), 92–104

26 Heyang Wu, Xiaoshan Lin y Annan Zhou, “A review of mechanical properties of fibre reinforced concrete at elevated temperatures,” *Cement and Concrete Research* 135 (SEP, 2020), 106117

27 Elisa Valero y otros, “Polypropylene Fibre Reinforced Concrete for the Structural Panels of the Pavillions of the Motril Port (Spain),” (2022)

28 Roberto Merli y otros, “Recycled fibers in reinforced concrete: A systematic literature review,” *Journal of Cleaner Production* 248 (MAR 1, 2020), 119207

29 Guanzhi Liu y otros, “Effect of free and embedded polypropylene fibres recovered from concrete recycling on the properties of new concrete,” *Construction and Building Materials* 409 (2023), 134145

30 Naciones Unidas, Asamblea General. Informe del Secretario General. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Edición especial 2023, pág. 36

MARÍA ANTONIA QUESADA BLASCO

VICTORIA GIMENO XIPELL

ELISA VALERO RAMOS

Contribución del hormigón reforzado con fibras a los objetivos de desarrollo sostenible

Contribution of Fiber-Reinforced Concrete to the Sustainable Development Goals

importaciones".³¹ Toda investigación que esté enfocada al desarrollo de materiales disponibles en el propio territorio del país, que garanticen una economía circular y una mayor reciclabilidad de los materiales, será una importante baza para alcanzar las metas.

Aportación de los HRF a la sostenibilidad medioambiental y al ODS 13

Los riesgos relacionados con el cambio climático y los desastres naturales tienen graves consecuencias en la vida de las personas y las poblaciones. La aplicación del HRF en el sector de la construcción puede dar respuesta al ODS 13 "Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos" y más en concreto a la meta 13.1 "Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países".

Los prefabricados en HRF se proponen como una vía para el desarrollo de sistemas constructivos asequibles con mayores coeficientes de seguridad y mayor capacidad de respuesta para zonas donde existan posibilidades de desastres medioambientales. Los tradicionales muros de carga de arcilla o bloques sin armar, habituales en los países más vulnerables, en ocasiones no dan una adecuada respuesta ante desastres naturales. Sistemas constructivos basados en elementos estructurales de HRF podrían mejorar la capacidad estructural de las edificaciones tanto de las cargas gravitatorias, como de las cargas sobrevenidas por sismo.

La Mitigación Ambiental y la Construcción Sostenible respaldan el ODS 13 porque abordan el cambio climático mediante estrategias de adaptación y reducción de la huella ambiental. Los datos estadísticos del Informe de Progreso de 2023 de los ODS³² sobre el número de países que adoptan y aplican estrategias nacionales de reducción del riesgo de desastres (Indicador 13.1.2) muestran que las desigualdades son notorias.

World	126
Sub-Saharan Africa	25
Northern Africa and Western Asia	15
Central and Southern Asia	12
Eastern and South-Eastern Asia	12
Latin America and the Caribbean	21
Australia and New Zealand	2
Oceania (exc. Australia and New Zealand)	12
Europe and Northern America	27

Tabla 2. Número de países que adoptan y aplican estrategias nacionales de reducción del riesgo de desastres. Fuente: elaboración propia, realizada con los datos del anexo estadístico del informe del Consejo Económico y Social de Naciones Unidas, 2023, p. 168.

31 Unión Europea: Comisión Europea, Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones sobre un marco de seguimiento revisado para la economía circular, SWD 306 final

32 Naciones Unidas, Asamblea General. Informe del Secretario General. Economic and Social Council Progress towards the Sustainable Development Goals. Report of the Secretary-General Supplementary Information. E/2023/64, Statistical Annex, (2023b)

33 María Isabel Rodríguez Rojas y otros, "El cambio de paradigma de la gestión del drenaje urbano desde la perspectiva del planeamiento. Una propuesta metodológica," Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles, no. 75 (2017), 55–74

El prefabricado de HRF tiene un amplio espectro de aplicaciones y algunas de ellas van dirigidas a contribuir a la mitigación de los efectos del cambio climático. El desarrollo industrial del Pavimento Ecológico Prefabricado (PEP), como alternativa al asfalto es una de ellas: se trata de un elemento estructural de HRF que funciona como una prótesis del terreno.

Investigaciones recientes han demostrado³³ que la utilización de elementos de pavimento permeables que retienen e infiltran las escorrentías y permiten el drenaje del agua pluvial al terreno natural es una herramienta eficaz, a corto y medio plazo, para dar respuesta a las necesidades del medioambiente en zonas de sequía. El uso del hormigón reforzado con fibras en estos pavimentos posibilita que las piezas prefabricadas, por sus características estructurales, permitan el paso de vehículos evitando el aplastamiento del suelo, actuando como una prótesis que protege el terreno natural minimizando su alteración y respetando la biodiversidad y los ciclos de agua y aire.

Contribución de los prefabricados HRF en la implementación de los ODS en los países más vulnerables

Las situaciones extremas de miseria económica, sanitaria, social y cultural afectan principalmente a los países más desfavorecidos del planeta. El documento de las Naciones Unidas lo reconoce así y manifiesta un compromiso fuerte para el cuidado tanto de las personas vulnerables como de los países o poblaciones en situaciones de vulnerabilidad que quedan reflejadas en sus Metas.

Las tres Metas de este tipo relacionadas con el sector de la construcción van dirigidas a “facilitar el desarrollo de infraestructuras sostenibles y resilientes en los países en desarrollo mediante un mayor apoyo financiero, tecnológico y técnico a los países menos adelantados” (Meta 9.a), a “aumentar el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan políticas y planes para promover el uso eficiente de los recursos, la mitigación y la adaptación al cambio climático y la resiliencia ante los desastres” (Meta 11.b) y al “cumplimiento de los compromisos en financiación que los países desarrollados han acordado con el fin de atender las necesidades de los países en desarrollo respecto de la adopción de medidas concretas de mitigación y la transparencia de su aplicación según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático” (Meta 13.a).

En los países vulnerables, el apoyo financiero es fundamental para el desarrollo de infraestructuras sostenibles y resilientes, así como para implantar medidas de adaptación y mitigación con las que hacer frente a la crisis climática. La financiación, si bien imprescindible, no es suficiente. El apoyo tecnológico y técnico del que se habla en la Meta 9.1 tiene una importancia capital, sobre todo si esa ayuda consiste no solo en traspasar la técnica sino en adaptarla a las circunstancias y características del país.

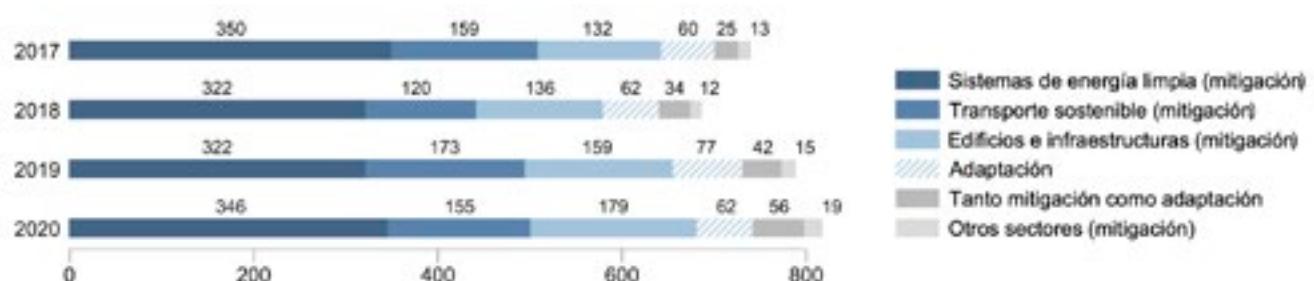


Figura 2. Corrientes mundiales de financiación para el clima, por sectores, 2017-2020 (miles de millones de dólares estadounidenses).
Fuente: Elaboración propia a partir del “Resumen y recomendaciones del Comité Permanente de Finanzas, Bonn: CMNUCC.2022”, extraído del Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023, p. 39.

La prefabricación de elementos de hormigón ya está presente en la gran mayoría de los países en desarrollo, pero tiene que dar un salto en innovación, ya que los elementos que se prefabrican son elementos tipo bloque, estructuralmente pasivos o dependientes, no estructurales: la posibilidad de prefabricar elementos de hormigón que sean autoportantes y estructuralmente eficientes aumenta las posibilidades de construir sin acero.

El compromiso ético en relación a la transferencia de conocimientos fruto de la investigación, tiene importancia también en el sector de la construcción. El Informe de los Objetivos de Desarrollos Sostenible 2023 dice que “el gasto mundial en investigación y desarrollo (I+D) como proporción del PIB aumentó del 1,69 % de 2015 al 1,93 % en 2020. Sin embargo, existen importantes brechas regionales”³⁴; sigue siendo demasiado bajo en los países menos adelantados y muchas regiones todavía presentaban un gasto inferior al 1 % de su PIB en investigación y desarrollo en 2020.

Los beneficios de la prefabricación con HRF cobrarían especial relevancia en los países en vías de desarrollo, donde el uso del prefabricado de hormigón está muy extendido y el precio del acero tiene una gran repercusión. Permite minimizar la depen-

34 Naciones Unidas, Asamblea General. Informe del Secretario General. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Edición especial 2023, pág. 31



Figura 3. Pieza de Pavimento Ecológico Prefabricado (PEP) con solicitud de patente número IPR-1088, 2024. Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Fábrica de prefabricados de hormigón en Yaundé, Camerún, 2024. Fuente: elaboración propia.

dencia del acero facilitando que pequeños fabricantes puedan construir estructuras eficientes con recursos accesibles, favoreciendo la producción de vivienda digna.

Conclusiones

Del Gráfico de Progreso de los ODS del 2023³⁵ y su correspondiente nota técnica, que proporciona una evaluación de tendencias (año de referencia 2015) en la implementación de Objetivos y Metas, podemos extraer la información que se muestra en la Tabla 3. La lectura de estos datos que hace el documento oficial indica que solo una de las Metas se encuentra en camino o con el objetivo alcanzado (verde), dos Metas están en estancamiento o regresión (rojo) y las cinco restantes mantienen un progreso razonable, pero necesitan aceleración (naranja).

ODS 9	Meta 9.4	Yellow
	Meta 9.a	Red
ODS 11	Meta 11.1	Red
	Meta 11. b	Green
ODS 8	Meta 8.4	Yellow
ODS 12	Meta 12.2	Yellow
ODS 13	Meta 13.1	Yellow
	Meta 13.a	Yellow

Tabla 3. Progreso de los ODS relacionados con el sector de la construcción. Fuente: elaboración propia.

35 Naciones Unidas, Asamblea General. Informe del Secretario General. Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Edición especial 2023. Gráfico de progreso, (2023c)

36 Marian Bowley, The British Building Industry: Four Studies in Response and Resistance to Change (Cambridge University Press, 1966)

Los resultados evidencian la necesidad de un cambio urgente en el sector de la construcción a la vez que ponen de manifiesto la enorme resistencia a la innovación en los sistemas que están en el mercado.³⁶ Se ha pretendido mostrar aquí cómo el desarrollo de sistemas de prefabricados estructurales de hormigón reforzado con fibras y su implantación a mayor escala podría incidir directamente en el

alcance de cada uno de estos Objetivos y Metas sin restar a ninguno. Esto supone un valor añadido al beneficio de utilizar este material porque, aunque en la Agenda 2030 se resalta el carácter universal, indivisible e interrelacionado de los ODS y se aboga por una visión integrada, en la práctica se tratan por separado y a veces de forma contradictoria.

Los prefabricados de HRF como alternativa al hormigón armado facilitan la reducción de las emisiones de CO₂ embebidas de las construcciones, contribuyendo a la descarbonización de la industria. Además, la eliminación del acero como refuerzo minimiza la huella material de las construcciones, elimina el riesgo de corrosión y prolonga la vida útil de las estructuras. La posibilidad de incorporar materiales reciclados a la mezcla de hormigón promueve la economía circular, mientras que el uso de este material en la creación de pavimentos drenantes presenta una alternativa al asfalto eficiente para la mitigación de la sequía y de los efectos del cambio climático.

El verdadero interés de estos nuevos sistemas es su aplicación en los países emergentes, donde la necesidad de construcción en los próximos años es treinta veces superior a la de los países de la vieja Europa. La reducción de la dependencia de la importación del acero y la reducción del consumo de materiales podría disminuir los costes y mejorar la oferta de vivienda asequible.

Ciertamente para que los cambios sean posibles entran en juego intereses económicos y políticos no siempre encomiables. Sin embargo, las dificultades no reducen la responsabilidad de aquellos directamente implicados en la transformación del territorio. Arquitectos e ingenieros están llamados a no conformarse con modos de hacer insostenibles y a buscar por todos los medios, sin ahorrar ningún esfuerzo, alianzas y alternativas para construir un futuro mejor.

Agradecimientos

Las autoras agradecen las aportaciones del grupo de investigación RNM909 Vivienda eficiente y reciclaje urbano.

Financiación

La realización de este artículo ha sido posible gracias a la financiación recibida para el proyecto *Building With Fibre Reinforced Environmentally Efficient Concrete Structures* (B-FREE) con referencia PID2022-139020OB-I00 financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033/ FEDER, UE.

Declaración de contribución de autoría

Conceptualización (EVR, MAQB, VGX); Metodología (MAQB, VGX, EVR); Investigación (EVR, MAQB, VGX); Redacción – borrador original (EVR, MAQB, VGX); Redacción – revisión y edición (EVR, MAQB, VGX); Supervisión (EVR); Obtención de financiación (EVR).

Bibliografía

CE. Código Estructural. Real Decreto 470/2021 del 29 de junio. Ministerios de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana y de Industria, Comercio y Turismo. España (2021) <https://www.boe.es/eli/es/rd/2021/06/29/470>.

Blanco Álvarez, A.; Pujadas Álvarez, P.; de la Fuente Antequera, A.; Aguado de Cea, A. “Análisis comparativo de los modelos constitutivos del hormigón reforzado con fibras.” *Hormigón Y Acero* 61, no. 256 (2010).

Blanco, A.; Pujadas, P.; De la Fuente, A.; Cavalaro, S. H. P.; Aguado, A. “Influence of the Type of Fiber on the Structural Response and Design of FRC Slabs.” *Journal of Structural Engineering* 142, no. 9 (2016): 04016054 [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001515](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001515).

MARÍA ANTONIA QUESADA BLASCO

VICTORIA GIMENO XIPELL

ELISA VALERO RAMOS

Contribución del hormigón reforzado con fibras a los objetivos de desarrollo sostenible

Contribution of Fiber-Reinforced Concrete to the Sustainable Development Goals

Bowley, Marian. *The British Building Industry: Four Studies in Response and Resistance to Change*. Cambridge University Press, 1966.

Facconi, Luca y Minelli, Fausto. "Verification of structural elements made of FRC only: A critical discussion and proposal of a novel analytical method." *Engineering Structures* 131, (2017): 530–41 <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.10.034>.

Habert, G.; Miller, S. A.; John, V. M.; Provis, J. L.; Favier, A.; Horvath, A.; Scrivener, K. L. "Environmental impacts and decarbonization strategies in the cement and concrete industries." *Nature Reviews Earth & Environment* 1, no. 11 (2020): 559–73 <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0093-3>.

Hajek, Petr. "Sustainability perspective in fib MC2020: Contribution of concrete structures to sustainability." *Structural Concrete* 24, no. 4 (2023): 4352–61 <https://doi.org/10.1002/suco.202300022>.

Intergovernmental Panel on Climate Change, (IPCC). *Climate Change 2022 - Mitigation of Climate Change: Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. (2023) <https://doi.org/10.1017/9781009157926>.

Leeson, D.; Mac Dowell, N.; Shah, N.; Petit, C.; Fennell, P. S. "A Techno-economic analysis and systematic review of carbon capture and storage (CCS) applied to the iron and steel, cement, oil refining and pulp and paper industries, as well as other high purity sources." *International Journal of Greenhouse Gas Control* 61, (2017): 71–84 <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2017.03.020>.

Liu, Guanzhi; Hunger, Martin; Tošić, Nikola; de la Fuente, Albert. "Effect of free and embedded polypropylene fibres recovered from concrete recycling on the properties of new concrete." *Construction and Building Materials* 409, (2023): 134145 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134145>.

Merli, Roberto; Preziosi, Michele; Acampora, Alessia; Lucchetti, Maria Claudia; Petrucci, Elisabetta. "Recycled fibers in reinforced concrete: A systematic literature review." *Journal of Cleaner Production* 248, (MAR 1, 2020): 119207 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119207>.

Naciones Unidas. *Asamblea General. Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. A/RES/70/1* (2015) <https://undocs.org/A/RES/70/1>.

_____. *Asamblea General. Marco de indicadores mundiales para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y metas de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. A/RES/71/313* (2017) <https://undocs.org/a/res/71/313>.

_____. *Asamblea General. Informe del Secretario General. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Edición especial 2023* (2023a) https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023_Spanish.pdf.

_____. *Asamblea General. Informe del Secretario General. Economic and Social Council Progress towards the Sustainable Development Goals. Report of the Secretary-General Supplementary Information. E/2023/64, Statistical Annex* (2023b) https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2023/E_2023_64_Statistical_Annex_I_and_II.pdf.

_____. *Asamblea General. Informe del Secretario General. Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Edición especial 2023. Gráfico de progreso* (2023c) <https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/progress-chart/>.

_____. *Asamblea General. Progresos realizados para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible: hacia un plan de rescate para las personas y el planeta. A/78/80-E/2023/64* (2023d) <https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2023/secretary-general-sdg-report-2023--ES.pdf>.

_____. *Asamblea General. Informe del Secretario General. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Edición especial 2024* (2024a) <https://unstats.un.org/sdgs/report/2024/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2024.pdf>.

_____. *Asamblea General. Informe del Secretario General. Progresos realizados para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible. A/79/79-E/2024/54* (2024b) <https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2024/secretary-general-sdg-report-2024--ES.pdf>.

_____. *Asamblea General. Informe del Secretario General. The Sustainable Development Goals Extended Report 2024* (2024c) <https://unstats.un.org/sdgs/report/2024/extended-report/>.

_____. *E-Handbook on Sustainable Development Goals Indicators*. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. División estadística. New York, USA. Consulta 2023. <https://unstats.un.org/wiki/display/SDGeHandbook/Home>.

Pujadas, Pablo; Blanco, Ana; Cavalaro, Sergio; Aguado, Antonio. "Plastic fibres as the only reinforcement for flat suspended slabs: Experimental investigation and numerical simulation." *Construction and Building Materials* 57, (2014): 92–104 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.082>.

Regúlez, Borja; Faria, Duarte M. V.; Todisco, Leonardo; Fernández Ruiz, Miguel; Corres, Hugo. "Sustainability in construction: The urgent need for a new ethics." *Structural Concrete* 24, no. 2 (2023): 1893–913 <https://doi.org/10.1002/suco.202200406>.

Rojas, María Isabel Rodríguez; Arrabal, María del Mar Cuevas; Escobar, Begoña Moreno; Montes, Germán Martínez. "El cambio de paradigma de la gestión del drenaje urbano desde la perspectiva del planeamiento. Una propuesta metodológica." *Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles* no. 75 (2017): 55–74 <https://doi.org/10.21138/bage.2492>.

Scrivener, Karen L.; John, Vanderley M.; Gartner, Ellis M. "Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry." *Cement and Concrete Research* 114, (2018) <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015>.

Tosic, Nikola; Aidarov, Stanislav; de la Fuente, Albert. "Systematic Review on the Creep of Fiber-Reinforced Concrete." *Materials* 13, no. 22 (Nov, 2020): 5098 <https://doi.org/10.3390/ma13225098>.

Unión Europea: Comisión Europea. *Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones sobre un marco de seguimiento revisado para la economía circular, SWD 306 final* (2023) <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A52023DC0306>.

Valero, Elisa; Gómez, Juana; López, Diego; Montalbán, Aurora; De la Fuente, Albert. "Polypropylene Fibre Reinforced Concrete for the Structural Panels of the Pavillions of the Motril Port (Spain)." (2022) https://doi.org/10.1007/978-3-030-83719-8_66.

Wu, Heyang; Lin, Xiaoshan; Zhou, Annan. "A review of mechanical properties of fibre reinforced concrete at elevated temperatures." *Cement and Concrete Research* 135, (2020): 106117 <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106117>.

Zhao, Chenggong; Wang, Zhiyuan; Zhu, Zhenyu; Guo, Qiuyu; Wu, Xinrui; Zhao, Renda. "Research on different types of fiber reinforced concrete in recent years: An overview." *Construction and Building Materials* 365, (2023): 130075 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130075>.