

---

# AUTOCURACIÓN BACTERIANA DEL HORMIGÓN: UNA REVISIÓN DE ALCANCE

MARLON FARFÁN-CÓRDOVA Y JORGE DÍAZ-ORTEGA

---

## RESUMEN

*Este estudio de alcance examina los avances en la autocuración bacteriana del hormigón. Se revisaron 54 estudios y se observó un aumento en las publicaciones desde 2015, con India liderando la investigación. Se han probado diversos materiales como sustitutos en el hormigón, incluyendo fibras y residuos de construcción reciclados. Las bacterias *Bacillus subtilis* y *Bacillus sphaericus* son las más utilizadas que*

*mejoran la resistencia del hormigón a través de la producción de calcita y la reparación de fisuras. La presencia de fibras, cenizas y residuos de construcción puede ayudar a proteger a las bacterias en un entorno alcalino. Este estudio resalta la importancia de la autocuración bacteriana en el hormigón y ofrece una visión general de los avances en este ámbito de investigación.*

---

## Introducción

El hormigón, conocido también como concreto, es un material estructural ampliamente utilizado en la construcción, aunque su fragilidad y resistencia limitada a la tracción lo hacen susceptible a las grietas, deteriorando su microestructura (Alhalabi y Dopudja, 2017; Rajczakowska, 2019). Estas grietas pueden permitir que sustancias dañinas corroan el acero y debiliten el hormigón (Magalla, 2017). El hormigón autocurativo, un innovador material de construcción, emplea bacterias para mejorar la resistencia del concreto a las microgrietas (Paine *et al.*, 2018).

Se han llevado a cabo estudios para identificar microorganismos capaces de reparar grietas en el hormigón, principalmente precipitando calcita ( $\text{CaCO}_3$ ). Entre ellos se encuentran *Bacillus subtilis* (Souid *et al.*, 2019), *Bacillus Pseudofirmus* (Prošek *et al.*, 2020; Žáková *et al.*, 2019) y *Bacillus mucilaginosus* (Su *et al.*, 2019). Estas bacterias contribuyen a la autocuración del concreto y ofrecen nuevas posibilidades para el desarrollo de concreto inteligente.

Esta revisión se centra en la autocuración bacteriana del hormigón, un tema de creciente importancia en la industria de la construcción. Proporciona una comprensión más profunda de los mecanismos biológicos implicados y de los beneficios y limitaciones de

esta tecnología. Además, ofrece una visión crítica de las técnicas actuales y sugiere áreas para futuras investigaciones. Esta tecnología tiene el potencial de mejorar la sostenibilidad y eficiencia en la construcción, por lo que una revisión exhaustiva podría ser muy valiosa para ingenieros y científicos en este campo.

La revisión plantea la pregunta: ¿El hormigón con agregado de bacterias tiene mejores propiedades mecánicas y de autocuración en comparación al hormigón estándar? El objetivo es analizar los avances en estudios experimentales sobre autocuración y propiedades mecánicas del hormigón con agregado de bacterias. Se consideraron objetivos específicos como identificar el tipo de diseño experimental, los tipos de bacterias

---

**PALABRAS CLAVE** / Autocuración / Bacillus / Concreto / Materiales /

Recibido: 24/10/2023. Modificado: 15/01/2024. Aceptado: 19/01/2024.

**Marlon Gastón Farfán-Córdova** (Autor para correspondencia). Ingeniero Civil, Maestro en Docencia Universitaria y Doctor en Educación, Universidad César Vallejo (UCV), Perú. Académico e Investigador, Institutos y Centros de Investigación, UCV, Perú. Dirección: Universidad César Vallejo, Av. Larco 1770, CP 13001, Trujillo, Perú. e-mail: mfarfan@ucv.edu.pe.

**Jorge Luis Díaz-Ortega**. Químico Farmacéutico, Maestro en Ciencias mención Fisiología y Biofísica y Doctor en Ciencias Biomédicas, Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Docente Investigador, Institutos y Centros de Investigación, UCV, Perú. e-mail: jdiaz@ucv.edu.pe.

---

mineralizantes de calcita, los tipos de material de reemplazo por los agregados y cemento en el concreto y el comportamiento del concreto a través de sus propiedades mecánicas al adicionar materiales de reemplazo y bacterias para autocuración.

## Materiales y Métodos

Se llevó a cabo una revisión de literatura sobre la autocuración bacteriana del hormigón, centrándose en artículos de investigación publicados en revistas indexadas. Se consideraron investigaciones que utilizaban pruebas de laboratorio y técnicas analíticas. Se realizó una búsqueda exhaustiva en las bases de datos *ScienceDirect*, *Scopus* y *Web of Science*, utilizando términos de búsqueda en inglés y operadores booleanos AND, OR y NOT.

Se incluyeron estudios primarios en inglés sobre autocuración bacteriana del hormigón de 2015 a 2022. Se excluyeron investigaciones no específicas, revisiones sistemáticas y documentos no revisados por pares. Se encontraron

602 publicaciones relacionadas con el tema en las tres bases de datos, *ScienceDirect* (135), *Scopus* (283) y *Web of Science* (184). Se encontraron 271 artículos repetidos, se descartaron 259 artículos centrados en la autocuración del mortero o con problemas de diseño o presentación de resultados; también se excluyeron 2 estudios que no se pudieron recuperar. Se seleccionaron 70 publicaciones que cumplieran con los criterios de elegibilidad, de las cuales se eliminaron 15 por ser actas (*proceedings*) y un estudio en la que se trabajó con una mezcla de mortero, que difiere del concreto por no presentar áridos gruesos. Finalmente, se seleccionaron 54 estudios para la discusión de esta revisión.

## Resultados

Los 54 artículos incluidos para el análisis se ordenaron según se observa en la Tabla I, y consideran: autor, año de publicación y país de procedencia de la investigación. La India fue el país de mayor presencia (37%), seguido por China (15%), Pakistán (9%), Egipto

(7%), Irán y Malasia (6% cada uno), otros países (20%). La Tabla II detalla referencias a trabajos de investigación en las que se evaluó el efecto de diferentes materiales en el concreto tales como fibras, partículas, cenizas y residuos de construcción reciclados, para mejorar su durabilidad y autocuración. Las fibras mayoritariamente investigadas fueron las de acero (Bifathima *et al.*, 2020; Kua *et al.*, 2019; Salmasi y Mostofinejad, 2020), fibras naturales de coco (Algaifi *et al.*, 2021; Shaheen *et al.*, 2019), yute y lino (Algaifi *et al.*, 2021), y cáscara de arroz (Pannem y Chintalapudi, 2019). En relación al tipo de partículas se incluyen escoria granulada (Mohammed *et al.*, 2020; Osman *et al.*, 2021; Rais y Khan, 2021; Raman *et al.*, 2022), vidrio expandido (Raman *et al.*, 2022), microsílíce (Mokhtar *et al.*, 2021) y nanopartículas (Mullem *et al.*, 2020). Las fibras actúan como un puente en el concreto, reduciendo grietas y permitiendo a las bacterias desarrollar un material de relleno para curar la grieta (Vijay y Murmu, 2019), iniciando procesos bioquímicos que mejoran la resistencia del concreto. Asimismo, se

TABLA I  
REFERENCIAS DE LOS ESTUDIOS INCLUIDOS EN LA REVISIÓN

Ref.	Autor (año)	País	Ref.	Autor (año)	País
(1)	Wang <i>et al.</i> (2022)	China	(28)	Mullem <i>et al.</i> (2020)	Bélgica
(2)	Khushnood <i>et al.</i> (2022)	Pakistán	(29)	Chen <i>et al.</i> (2020)	Taiwán
(3)	Njau <i>et al.</i> (2022)	Kenya	(30)	Prayuda <i>et al.</i> (2020)	Indonesia
(4)	Mirshahmohammad <i>et al.</i> (2022)	Irán	(31)	Shaheen <i>et al.</i> (2019)	Italia
(5)	Kanwal <i>et al.</i> (2022)	Pakistán	(32)	Vijay and Murmu (2019)	India
(6)	Riad <i>et al.</i> (2022)	Egipto	(33)	Chithambar Ganesh <i>et al.</i> (2019)	India
(7)	Raman <i>et al.</i> (2022)	India	(34)	Prabhath Ranjan Kumar <i>et al.</i> (2019)	India
(8)	Zhang L. <i>et al.</i> (2021)	Canadá	(35)	Xu <i>et al.</i> (2019)	China
(9)	Mokhtar <i>et al.</i> (2021)	Egipto	(36)	Kua <i>et al.</i> (2019)	EEUU
(10)	Rais and Khan (2021)	India	(37)	Santhi Kala <i>et al.</i> (2019)	India
(11)	Zhang X. <i>et al.</i> (2021)	China	(38)	Nain <i>et al.</i> (2019)	India
(12)	Joshi <i>et al.</i> (2021)	India	(39)	Huynh <i>et al.</i> (2019)	Japón
(13)	Osman <i>et al.</i> (2021)	Egipto	(40)	Durga <i>et al.</i> (2019)	India
(14)	Qian <i>et al.</i> (2021)	China	(41)	Reddy and Kavyateja (2019)	India
(15)	Liu <i>et al.</i> (2021)	China	(42)	Irwan <i>et al.</i> (2019)	Malasia
(16)	Ganesh <i>et al.</i> (2021)	India	(43)	Pannem and Chintalapudi (2019)	India
(17)	Saleem <i>et al.</i> (2021)	Pakistán	(44)	Tiwari <i>et al.</i> (2018)	India
(18)	Schreiberova <i>et al.</i> (2021)	República Checa	(45)	Rohini and Padmapriya (2018)	India
(19)	Algaifi <i>et al.</i> (2021)	Malasia	(46)	Vashisht <i>et al.</i> (2018)	India
(20)	Xu <i>et al.</i> (2020)	China	(47)	Ganesh <i>et al.</i> (2017)	India
(21)	Pourfallahi <i>et al.</i> (2020)	Irán	(48)	Kadapure <i>et al.</i> (2017)	India
(22)	Rauf <i>et al.</i> (2020)	Pakistán	(49)	Khaliq and Ehsan (2016)	Pakistán
(23)	Amer Algaifi <i>et al.</i> (2020)	Malasia	(50)	Krishnapriva <i>et al.</i> (2015)	India
(24)	Yuan <i>et al.</i> (2020)	China	(51)	Sarkar <i>et al.</i> (2015)	India
(25)	Metwally <i>et al.</i> (2020)	Egipto	(52)	Salmasi and Mostofinejad (2020)	Irán
(26)	Gao <i>et al.</i> (2020)	China	(53)	Mohammed <i>et al.</i> (2020)	Inglaterra
(27)	Khushnood <i>et al.</i> (2020)	Italia	(54)	Bifathima <i>et al.</i> (2020)	India

usan partículas granuladas, como escoria, microsilíce, nanopartículas de óxido de hierro, bentonita, entre otros, para mejorar la durabilidad y autocuración del concreto (Mohammed *et al.*, 2020; Mokhtar *et al.*, 2021; Rais y Khan, 2021; Raman *et al.*, 2022; Riad *et al.*, 2022; Saleem *et al.*, 2021; Zhang X *et al.*, 2021). Estos materiales afectan las propiedades mecánicas del concreto de formas diversas. Por ejemplo, la escoria puede mejorar la resistencia a la compresión (RC) (Zhang X *et al.*, 2021), el microsilíce mejora la RC y durabilidad (Raman *et al.*, 2022), y las nanopartículas de óxido de hierro pueden mejorar la resistencia a la flexión (RF) y RC (Rais y Khan, 2021). La bentonita puede mejorar la trabajabilidad y la durabilidad del concreto (Shaheen *et al.*, 2019). Las cenizas volantes interactúan con el concreto, produciendo reacciones químicas que afectan su durabilidad al formar compuestos cementantes adicionales (Mokhtar *et al.*, 2021).

El material reciclado de desecho de construcción tiene un uso dual; aunque puede reducir la RC (Wang *et al.*, 2022), su calidad depende del concreto original y las condiciones de la estructura demolida (Khushnood *et al.*, 2020; Rohini y Padmapriya, 2018).

Sin embargo, puede ser útil al combinarla con otros materiales como cenizas volantes, humo de sílice, ceniza de cáscara de arroz y metacaolín, o aditivos superplastificantes que mejoran sus propiedades (Ganesh GM *et al.*, 2017; Rais y Khan, 2021; Sarkar *et al.*, 2015). Estos materiales se utilizan como portadores de bacterias con alta actividad ureasa para la autocuración de grietas, llenando espacios porosos y grietas en el concreto.

En la Tabla III se presenta la información relacionada con diseños experimentales en las que se evaluó la aplicación de bacterias, tanto individual como en combinaciones. Se utilizan más de dos grupos experimentales y un grupo de control, así como diseños factoriales. Los microorganismos más utilizados son *Bacillus subtilis* (Ganesh *et al.*, 2021; Kanwal *et al.*, 2022; Khushnood *et al.*, 2020; Prayuda *et al.*, 2020; Raman *et al.*, 2022) y *Sporosarcina pasteurii* (Chen *et al.*, 2020; Kadapure *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2021; Metwally *et al.*, 2020; Mirshahmohammad *et al.*, 2022; Pannem y Chintalapudi, 2019; Santhi Kala *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2022; J. Xu *et al.*, 2020; Zhang X *et al.*, 2021). Para *Bacillus subtilis*, se ha probado su efecto

inherente y la concentración utilizada, así como el tipo de fibra, material reciclado, tipo de inmovilización, sustrato utilizado y modificación genética. En bioconcretos con *Sporosarcina pasteurii* (Wang *et al.*, 2022; Zhang X *et al.*, 2021) y tipo de agregados (Algaifi *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2021; Pannem y Chintalapudi, 2019), evaluaron su efecto bajo condiciones especiales, como la fuerza de compresión, profundidad de la grieta y la relación agua/cemento en la mezcla (Metwally *et al.*, 2020). Con base en la literatura revisada se desprende que se han aplicado diseños experimentales con estímulo creciente en relación a la concentración bacteriana (Kadapure *et al.*, 2017; Osman *et al.*, 2021; Reddy y Kavyateja, 2019; Rohini y Padmapriya, 2018; Santhi Kala *et al.*, 2019), sustrato (Irwan *et al.*, 2019; Reddy y Kavyateja, 2019), agregado reciclado (Rohini y Padmapriya, 2018), cenizas volantes (Joshi *et al.*, 2021; Kadapure *et al.*, 2017) y fibra (Bifathima *et al.*, 2020; Gao *et al.*, 2020). Los estudios muestran que incrementando la concentración bacteriana se favorecen las propiedades del concreto, siempre que el agua de curado sea potable. Sin embargo, *Dunaliella salina* mejora las propiedades del concreto incluso en agua salada (Osman *et al.*, 2021).

TABLA II  
MATERIALES UTILIZADOS COMO REEMPLAZO O ADITIVOS EN MEZCLA DE CONCRETO

Tipo de material y sus referencias			
Referencia	Industrial	Referencia	Natural
Fibras			
(36)(52)(54)	Fibra de acero	(16)(31)	Fibra de coco
(7)(36)	Fibras de alcohol polivinílico (PVA)	(19)	Fibra de yute
(16)(54)	Fibras de vidrio de alto módulo	(19)	Fibra de lino
(15)	Fibras de polipropileno de bajo módulo	(43)	Cáscara de arroz
(29)	Fibra de basalto	---	---
(30)	Fibra de polipropileno	---	---
(32)	Fibra de caucho	---	---
Partículas			
(8)(10)(13) (53)	Escoria granulada; escoria granulada molida de alto horno (GGBFS)	(5)	Biochar molido
(9)	Microsilíce (MS)	(17)	Granito triturado
(28)	Nano/micropartículas: óxido de hierro	(6)(12)	Dolomita
(28)	Nano/micropartículas: bentonita (arcilla)	(9)	Metacaolín (MK)
(18)	Ceramsita	---	---
(7)	Vidrio expandido (EG)	---	---
Cenizas			
(3)(10)(11) (13)(20)(24) (43)(48)	Cenizas volantes	---	---
Material reciclado de desecho de construcción			
(1)(9)(14) (27)(45)	Concreto reciclado	---	---

() Referida a numeración indicada en Tabla I.

TABLA III  
DISEÑOS EXPERIMENTALES CON DIFERENTES TIPOS DE BACTERIAS

Bacteria(s)	Diseños Experimentales				Condiciones implicadas
	Un grupo y un control	Dos grupos y un control	Más de dos grupos y control	Factoriales	
<i>Sporosarcina pasteurii</i>	(1) (43)	(29)	(4) (8) (15) (20) (24) (37)*	(25) (48)*	Tipo de sustrato: Urea, Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ; NH <sub>4</sub> Cl, Lactato de calcio/ acetato de calcio/ Vidrio Expandido/ Adsorción a agregado grueso reciclado/cenizas volantes/humedad relativa/ Relación agua/cemento, Fuerza de Compresión/ Agregado Ligerero/ Concentración de la bacteria*/Concentración de cenizas* volantes/ Profundidad de la grieta.
<i>Bacillus thuringiensis</i>	—	(3)	—	—	Cenizas volantes
<i>Bacillus subtilis</i>	(30) (39)	(51)	(5) (7) (16) (17) (27) (31) (52) (49)	(32) (41)* (45)*	Presencia de biocarbón/silíce*/Tipo de fibra (vidrio, híbrido) /Ladrillo reciclado*/inmovilización y/o suspensión de la bacteria/ Fibra basalto/ Concentración bacteriana y concentración de sustrato (Lactato de Ca)/ % agregados reciclados y concentración bacteriana*/ Bacteria mejorada genéticamente vs Bacteria sin modificación/ambiente (agua, urea-lactato de calcio, caldo de cultivo, fibra de acero).
<i>Bacillus sphaericus</i>	—	—	(36)	—	Polímeros superabsorbentes A y B, Fibra, inmovilizador biocarbono.
<i>Bacillus megaterium</i>	—	—	(10) (54)*	(34)	Agregado grueso natural (granito), Agregado grueso de concreto reciclado (probeta de hormigón), Metacaolin, Microsilíce/ Fibra, Curado con CaCl <sub>2</sub> / Fibra de vidrio*, Fibra de acero*.
<i>Bacillus</i> sp.	—	—	(12)*	—	Cenizas volantes clase F.
<i>Bacillus pseudofirmus</i>	—	—	(26)*	(18)	Tipo de polímero: Polímero superabsorbente (SPA), Alcohol polivinílico/ Encapsulación de bacteria a diferentes concentraciones de quitosano.
<i>Bacillus cohnii</i>	—	—	—	(47)	Reemplazo de arena fina con cáscara de arroz.
<i>Bacillus pseudomycooides</i>	(19)	—	—	—	—
<i>Bacillus paralicheniformis</i> y <i>Bacillus</i> sp.	—	—	—	(21)	Tipo de cemento, antisulfato, infiltración lenta de sulfato/.
<i>Enterococcus faecalis</i>	—	—	(42)*	—	Concentración de lactato de calcio*.
Cepa tipo <i>Shewanella</i>	—	—	—	(53)	Escoria granulada molida (GGBS).

\* Estudio con diseño experimental con estímulo creciente. A: Poli acrilato de sodio SAP-A; B: Poli acrilato de sodio SAP-B.

TABLA III (Cont.)  
DISEÑOS EXPERIMENTALES CON DIFERENTES TIPOS DE BACTERIAS

Bacteria(s)	Diseños Experimentales				
	Un grupo y un control	Dos grupos y un control	Más de dos grupos y control	Factoriales	Condiciones implicadas
<b>Comparativos entre bacterias</b>					
<i>Sporosarcina pasteurii</i> vs <i>Bacillus Sphaericus</i>	—	—	—	(6)* (23)*	Sustrato: Lactato de calcio/ Concentración bacteriana.
<i>Rhizopus oryzae</i> vs <i>Trichoderma longibrachiatum</i>	—	—	—	(2)	Inmovilizador (superplastificante 1%).
<i>B.subtilis</i> vs <i>B.cohnii</i> vs <i>B. sphaericus</i>	—	—	—	(22)	Tipo de fibra (coco, lino, yute).
<i>B. subtilis</i> vs <i>B. megaterium</i> vs consorcio	—	—	(38)	—	—
<i>B. subtilis</i> vs <i>B. Halodurans</i>	—	—	(40)*	—	Concentración bacteriana.
<i>Bacillus wiedmannii</i> vs <i>Bacillus paramycoides</i>	—	(9)	—	—	—
<i>B. megaterium</i> MTCC1684 vs <i>B. megaterium</i> BSKNAU, <i>B. flexus</i> BSKNAU, <i>B. licheniformis</i> AS-4	—	—	(50)	—	—
<i>B. sphaericus</i> vs <i>B. Cohnii</i> vs <i>B. megaterium</i>	—	—	(44)	—	—
<i>B. sphaericus</i> (NCIM No 2478) vs <i>B. pasteruii</i> (NCIM No 2477)	—	—	—	(48)*	Concentración de ceniza volante*, concentración de bacteria.
<i>B. megaterium</i> vs <i>Lysinibacillus</i> sp.	—	(46)	—	—	—
<i>B. sphaericus</i> EMCC 1253 vs <i>B. Pasteurii</i> DSM33 vs <i>Dunaliella salina</i>	—	—	(13)*	—	Concentración bacteriana*.
<b>Combinaciones de microorganismos</b>					
<i>B. subtilis</i> y <i>B. sphaericus</i>	—	—	—	(16)	Tipo de fibra (vidrio, híbrido vidrio + polipropileno).
<i>B. subtilis</i> y <i>B. sphaericus</i>	—	—	—	(33)	Fibra de propileno.

\* Estudio con diseño experimental con estímulo creciente. A: Poli acrilato de sodio SAP-A; B: Poli acrilato de sodio SAP-B.

## Discusión

La resistencia y durabilidad del concreto pueden mejorarse mediante la adición de bacterias y fibras. Las bacterias transforman el compuesto inicial y llenan espacios porosos y fisuras, aumentando la resistencia del concreto (Mirshahmohammad *et al.*, 2022; Mokhtar *et al.*, 2021; Vijay y Murmu, 2019). Comúnmente las bacterias requieren de nutrientes como cloruro y nitrato de calcio-urea, dolomita y lactato cálcico para lograr incrementar la resistencia del concreto (Irwan *et al.*, 2019;

Mirshahmohammad *et al.*, 2022; Reddy y Kavyateja, 2019; Riad *et al.*, 2022). En ese mismo sentido, las fibras pueden incrementar significativamente su resistencia debido a la función que desempeñan, desde fibras naturales como coco, lino y yute (Rauf *et al.*, 2020; Yuan *et al.*, 2020), hasta basalto (Vijay y Murmu, 2019), caucho (Xu *et al.*, 2019) y acero (Salmasi y Mostofinejad, 2020). Las fibras le dan mayor resistencia y elasticidad al concreto, mientras que las bacterias favorecen su fortaleza al producir carbonato de calcio, que repara las grietas y aumenta su durabilidad, y en consecuencia se eleva la

resistencia a la flexión (Reddy y Kavyateja, 2019). El compuesto carbonato de calcio, rellena y sella las grietas y microgrietas que se forman en el material (Kanwal *et al.*, 2022; Njau *et al.*, 2022; Rais y Khan, 2021), siendo las bacterias del género *Bacillus* las que realizan un mejor trabajo de precipitación de carbonato de calcio en forma de calcita inducida microbiológicamente (Yuan *et al.*, 2020). La prueba de difracción de rayos X (DRX) y la microscopía electrónica de barrido (MEB) confirman la precipitación de carbonato de calcio por la acción de las bacterias en la mezcla (Saleem *et al.*,

2021) y muestran las evidencias de precipitaciones de calcita, hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) y silicatos cálcico hidratado, productos importantes que le proporcionan la resistencia al concreto (Mirshahmohammad *et al.*, 2022).

La producción de las bacterias está influenciada por la urea en el medio de cultivo y proporciona un ambiente alcalino y es el sustrato para la actividad de la ureasa de bacterias como *Sporosarcina pasteurii*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus sphaericus* y *Bacillus megaterium*. Estas bacterias hidrolizan la urea para formar ácido carbónico y amoníaco, creando un ambiente alcalino que libera carbonato. Este carbonato puede reaccionar con calcio de fuentes salinas como lactato de calcio, nitrato de calcio, acetato de calcio y cloruro de calcio (Cui *et al.*, 2020). También se ha determinado que el acetato de calcio mejora la resistencia a la tracción y compresión, reduce el tamaño del poro modal y su distribución, probablemente debido a la formación de cristales aciculares de carbonato de calcio, conocidos como aragonita (Zhang *et al.*, 2015).

La encapsulación de esporas bacterianas en un material portador mejora el autocurado del concreto, protegiéndolas de condiciones adversas y permitiendo su supervivencia. Cuando las grietas permiten la entrada de agua y nutrientes, las esporas germinan y producen calcita que repara las grietas. La inmovilización ayuda a regular la liberación de esporas y mantiene su viabilidad (Xu *et al.*, 2019). La mezcla de fibras y bacterias mejora el autocurado del concreto. Las fibras reducen el ancho de las grietas y actúan como un puente, mientras que las bacterias inmovilizadas en las fibras permanecen viables para el autocurado, mejorando la resistencia y durabilidad del concreto (Vijay y Murmu, 2019). No existe una fibra claramente superior para la inmovilización de bacterias y el autocurado del concreto. Las fibras naturales e industriales, como acero (Bifathima *et al.*, 2020; Kua *et al.*, 2019; Salmasi y Mostofinejad, 2020), basalto (Chen *et al.*, 2020) o vidrio (Bifathima *et al.*, 2020; Ganesh *et al.*, 2021), pueden ser efectivas. La elección depende de factores como la retención de bacterias, mejora de propiedades del concreto, costo y disponibilidad. Es crucial realizar pruebas para determinar la fibra más adecuada para cada aplicación.

Las combinaciones de materiales en el bioconcreto pueden contraponer sus propiedades benéficas individuales. Por ejemplo, la microsílíce esférica mejora la trabajabilidad del

bioconcreto, pero la fibra de acero la dificulta (Raman *et al.*, 2022). Además, la eficiencia de curación en el concreto varía entre las bacterias (Ganesh *et al.*, 2021). *B. sphaericus* ha demostrado una mayor eficiencia debido a su capacidad superior de formación de calcita en comparación con *B. subtilis* y *B. cohnii*. Esto se debe a que *B. sphaericus* es un productor excepcional de ureasa (Xu *et al.*, 2020), mientras que *B. subtilis* carece de proteínas accesorias necesarias para la actividad de la ureasa (Prayuda *et al.*, 2020) y *B. cohnii* requiere lactato como fuente de  $\text{CO}_2$ , lo que ralentiza la producción de carbonato. Se ha encontrado que *B. megaterium* y *B. Sphaericum* tienen resistencias a la compresión similares, aunque *B. megaterium* produce ligeramente más calcita (Tiwari *et al.*, 2018). El hormigón modificado con *Lysinibacillus* sp. muestra una mayor resistencia a la compresión y precipitación de calcita en comparación con el bioconcreto elaborado con *B. megaterium* (Vashisht *et al.*, 2018). El pH del concreto es crucial al comparar microorganismos individuales y consorcios en diseños experimentales. En un estudio, los resultados no fueron claros porque no se consideró el pH (Kanwal *et al.*, 2022), a pesar de que se esperaba que *B. megaterium* tuviera mayor actividad de ureasa que *B. subtilis*. Aunque *B. megaterium* superó a *B. subtilis* en resistencia a la compresión, no lo hizo en resistencia a la tracción, probablemente debido a la falta de consideración del pH 7 para la actividad de su ureasa (Ganesh *et al.*, 2021). Este aspecto es vital para mejorar los diseños experimentales.

El uso de consorcios microbianos puede potenciar la precipitación de calcita y el autocurado del concreto. Sin embargo, sólo dos estudios han confirmado esto frente a un concreto control con una concentración bacteriana de  $10^5$  células/ml (Chithambar Ganesh *et al.*, 2019). Un estudio (Tiwari *et al.*, 2018) con una concentración de  $3 \times 10^8$  células/ml no mostró mejoras con el consorcio microbiano sobre los microorganismos individuales. Se requieren más investigaciones para determinar si las mezclas bacterianas mejoran la resistencia a la compresión y tracción del concreto.

Existen dos métodos sugeridos para incorporar bacterias a la mezcla de concreto. El primero es añadirlas directamente al agua de la mezcla, no obstante, el ambiente alcalino del concreto puede afectar su funcionalidad. El segundo método reportado, que ofrece mejores resultados, consiste en incluir las bacterias en precursores auxiliares como hidrogel, perlita expyida, ceramsita (Xu *et al.*,

2020), zeolita, cáscara de arroz (Ganesh *et al.*, 2021), espuma de poliuretano, cenizas volantes (Joshi *et al.*, 2021; Kadapure *et al.*, 2017), biocarbón (Kanwal *et al.*, 2022; Kua *et al.*, 2019), nanopartículas de óxido de hierro, diatomita, microcápsulas, partículas de arcilla expandida (Shaheen *et al.*, 2019) y nanoplaquetas de grafito (Khalik y Ehsan, 2016). Cuando el concreto endurecido se agrieta, el sistema de curación se activa con la entrada de agua y se mantiene gracias a la disponibilidad de oxígeno.

## Conclusiones

Los estudios sobre autocuración del concreto con la intervención de bacterias y materiales diversos de reemplazo o aditivos, de origen natural e industrial, han reportado mejora de sus propiedades mecánicas y uso alternativo para curar o cerrar las grietas o microgrietas que se forman en el concreto debido a las sollicitaciones de cargas de servicio. Esta revisión examinó el contenido de varias publicaciones que focalizan su mirada en la autocuración del concreto, así como de la mejora de sus propiedades.

Entre los hallazgos predominantes, se verificó la presencia de diferentes especies de *Bacillus*, entre los que resaltan *B. subtilis* y *B. sphaericus*, que permiten mejorar la resistencia del concreto tomando en cuenta su concentración, pH, nutrientes o fuentes de calcio para la generación de calcita en sus diferentes tipos de cristales y por tanto del sellado de grietas o microgrietas. Otro aspecto importante fue identificar de la literatura revisada que la presencia de diferentes materiales tales como fibras, cenizas, partículas y reciclados de construcción que se utilizan y acompañan a las bacterias como medio protector o inmovilizador ante un ambiente altamente alcalino del concreto, permite prolongar su funcionalidad más allá de 28 días de curado. En lo que refiere a los diseños experimentales, se puede mencionar que predominan los que presentan más de dos grupos experimentales y un control, así como los diseños factoriales.

## REFERENCIAS

- Algaifi HA, Alqarni AS, Alyousef R, Bakarb SA, Ibrahim MHW, Shahidan S, Ibrahim M, Salami BA (2021) Mathematical prediction of the compressive strength of bacterial concrete using gene expression programming. *Ain Shams Engineering Journal* 12: 3629-3639. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85105319652&doi=>

- 10.1016%2fj.asej.2021.04.008&partnerID=40&md5=caee7a689896c4441d3ac9fd585563
- Alhalabi ZS, Dopudja D (2017) Self-healing concrete: Definition, mechanism and application in different types of structures. *Международный научно-исследовательский журнал* 5. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.087>
- Bifathima S, Vara Lakshmi TVS, Matcha BN (2020) Self-Healing Concrete by Adding Bacillus Megaterium MTCC with Glass & Steel Fibers. *Civil and Environmental Engineering* 16: 184-197. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85086565235&doi=10.2478%2fcee-2020-0018&partnerID=40&md5=a4d0a76424e7cd54c9643f1ba7d569b2>
- Chen HJ, Chen MC, Tang CW (2020) Research on improving concrete durability by biomineralization technology. *Sustainability (Switzerland)* 12: 1242 <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85081235500&doi=10.3390%2fisu12031242&partnerID=40&md5=3e8c56089c2c9077037e4c-c5755881e0>
- Chithambar Ganesh A, Muthukannan M, Malathy R, Ramesh Babu C (2019) An Experimental Study on Effects of Bacterial Strain Combination in Fibre Concrete and Self-Healing Efficiency. *KSCCE Journal of Civil Engineering* 23: 4368-4377. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85072029587&doi=10.1007%2fs12205-019-1661-2&partnerID=40&md5=c4c384bbe4d19517ccf5e-85b45e928f9>
- Cui Y, Liu J, Wang L, Liu R, Pang B (2020) Effect of fly ash with different particle size distributions on the properties and microstructure of concrete. *Journal of Materials Engineering and Performance* 29: 6631-6639. <https://doi.org/10.1007/s11665-020-05108-x>
- Ganesh C, Muthukannan M, Kumar AS, Arunkumar K (2021) Influence of bacterial strain combination in hybrid fiber reinforced geopolymer concrete subjected to heavy and very heavy traffic condition. *Journal of Advanced Concrete Technology* 19: 359-369. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85105849813&doi=10.3151%2fjact.19.359&partnerID=40&md5=1d-8f55a06829af87e36b03f166859d1a>
- Ganesh GM, Santhi AS, Kalaiichelvan G (2017) Self-healing bacterial concrete by replacing fine aggregate with rice husk. *International Journal of Civil Engineering and Technology* 8: 539-545. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85029895686&partnerID=40&md5=091f3ae4a65b0b-747de1e6848092d821>
- Gao M, Guo J, Cao, H, Wan, H, Xiong X, Krastev R, Nie K, Xu H, Liu L (2020) Immobilized bacteria with pH-response hydrogel for self-healing of concrete. *Journal of Environmental Management* 261: 110225. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110225>
- Irwan JM, Anneza LH, Othman N (2019) Effect of enterococcus faecalis bacteria and calcium lactate on concrete properties and self-healing capability. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology* 10: 80-92. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85073430504&doi=10.30880%2fijscet.2019.10.01.008&partnerID=40&md5=e1c18d02ebbd2b3c2fe14179ff265403>
- Joshi S, Goyal S, Sudhakara Reddy M (2021) Bio-consolidation of cracks with fly ash amended biogrouting in concrete structures. *Construction and Building Materials* 300: 124044. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85108820338&doi=10.1016%2fj.conbuildmat.2021.124044&partnerID=40&md5=18dfa0a913f39f0c8033809476121746>
- Kadapure SA, Kulkarni GS, Prakash KB (2017) Biomimetalization technique in self-healing of fly-ash concrete. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development* 8: 54-65. <https://doi.org/10.12972/subs.20170005>
- Kanwal M, Khushnood RA, Khaliq W, Wattoo AG, Shahid T (2022) Synthesis of pyrolytic carbonized bagasse to immobilize *Bacillus subtilis*; application in healing micro-cracks and fracture properties of concrete. *Cement and Concrete Composites* 126: 104334. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85118966763&doi=10.1016%2fj.cemconcomp.2021.104334&partnerID=40&md5=3b7331507566b044c-72c3103a088519f>
- Khaliq W, Ehsan MB (2016) Crack healing in concrete using various bio influenced self-healing techniques. *Construction and Building Materials* 102: 349-357. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84946593748&doi=10.1016%2fj.conbuildmat.2015.11.006&partnerID=40&md5=00e9bb7e3c30b258a831a42430ae2b24>
- Khushnood RA, Qureshi ZA, Shaheen N, Ali S (2020) Bio-mineralized self-healing recycled aggregate concrete for sustainable infrastructure. *Science of the Total Environment* 703: 135007 <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85075335107&doi=10.1016%2fj.scitotenv.2019.135007&partnerID=40&md5=f6bc8058961977aa47ead69e7f4039ee>
- Kua HW, Gupta S, Aday AN, Srubar WV (2019) Biochar-immobilized bacteria and superabsorbent polymers enable self-healing of fiber-reinforced concrete after multiple damage cycles. *Cement and Concrete Composites* 100: 35-52. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85063610817&doi=10.1016%2fj.cemconcomp.2019.03.017&partnerID=40&md5=6dd7b42041ba37aa-6169d3a1e14cafbd>
- Liu C, Xing L, Liu H, Huang W, Nong X, Xu X (2021) Experimental on repair performance and complete stress-strain curve of self-healing recycled concrete under uniaxial loading. *Construction and Building Materials* 285: 122900. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85102235681&doi=10.1016%2fj.conbuildmat.2021.122900&partnerID=40&md5=88e60615dec0a0b92c-0f4982a656907>
- Magalla M (2017) *Bacteria based self-healing concrete*. Master Thesis. Delft University of Technology. Países Bajos. 208 pp. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A90b616df-d43c-475e-8963-394869461807>
- Metwally GA, Mahdy M, Abd El AE-RH. (2020) Performance of Bio Concrete by Using *Bacillus Pasteurii* Bacteria. *Civil Engineering Journal* 6: 1443-1456. <https://doi.org/10.28991/cej-2020-03091559>
- Mirshahmohammad M, Rahmani H, Maleki-Kakelar M, Bahari A (2022) Effect of sustained service loads on the self-healing and corrosion of bacterial concretes. *Construction and Building Materials* 322: 126423 <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85123054816&doi=10.1016%2fj.conbuildmat.2022.126423&partnerID=40&md5=b39d5e4b512cf76db0f5c5ef21ccf9c3>
- Mohammed H, Ortoneda-Pedrola M, Nakouti I, Bras A (2020) Experimental characterisation of non-encapsulated bio-based concrete with self-healing capacity. *Construction and Building Materials* 256: 119411. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820314161>
- Mokhtar G, Ahmed A A-E-A, Reyad AM (2021) The effect of isolated Bacillus ureolytic bacteria in improving the bio-healing of concrete cracks. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences* 10: 55. <https://doi.org/10.1186/s43088-021-00142-7>
- Mullem T, Gruyaert E, Caspeeel R, Belie N (2020) First large scale application with self-healing concrete in Belgium: Analysis of the laboratory control tests. *Materials* 13: 997. <https://doi.org/10.3390/ma13040997>
- Njau MW, Mwero J, Abiero-Gariy Z, Matiru V (2022) Effect of Temperature on the Self-Healing Efficiency of Bacteria and on that of Fly Ash in Concrete. *International Journal of Engineering Trends and Technology* 70: 174-187. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V70I4P215>
- Osman KM, Taher FM, Abd EL-Tawab A, Faried AS (2021) Role of different microorganisms on the mechanical characteristics, self-healing efficiency, and corrosion protection of concrete under different curing conditions. *Journal of Building Engineering* 41: 102414. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102414>
- Paine K, Sharma T, Alazhari M, Heath A, Cooper R (2018) Application and performance of bacteria-based self-healing concrete. *Final Conference of RILEM TC 253-MCI: Microorganisms-Cementitious Materials Interactions* 2: 387-394. <https://researchportal.bath.ac.uk/en/publications/application-and-performance-of-bacteria-based-self-healing-concrete>
- Pannem R, Chintalapudi K (2019) Evaluation of strength properties and crack mitigation of self-healing concrete. *Jordan Journal of Civil Engineering* 13: 386-393. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85073319500&partnerID=40&md5=d-cla101439752639e665885c72cb8a5c>
- Prayuda, H., Soebandono, B., Cahyati, M. D., & Monika, F. (2020). Repairing of flexural cracks on reinforced self-healing concrete beam using *Bacillus subtilis* bacteria. *International Journal of Integrated Engineering* 12: 300-309. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85088238843&partnerID=40&md5=556d394aeb0d-51fa4dbd6192ff81bbdd>
- Prošek Z, Ryparová P, Tesárek P (2020) Application of Bacteria as Self-Healing Agent for the Concrete and Microscopic Analysis of the Microbial Calcium Precipitation Process. *Key Engineering Materials* 846: 237-242. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.846.237>
- Rais MS, Khan RA (2021) Experimental investigation on the strength and durability properties of bacterial self-healing recycled aggregate concrete with mineral admixtures. *Construction and Building Materials* 306: 124901. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85114983309&doi=10.1016%2fj.conbuildmat.2021.124901&>

- partnerID=40&md5=b3b933f468d8b52f-32219c6504b134c6
- Rajczakowska M (2019) *Self-Healing Concrete*. Thesis. Luleå University of Technology. Suecia. 103 pp. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ltu:diva-76527>
- Raman V, Philip N, Baven N (2022) The Self-Healing Effect on Bacteria-Enriched Steel Fiber-Reinforced SCC. *Ingeniería e Investigación* 42: e87120. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85129845478&doi=10.15446%2fing.investig.87120&partnerID=40&md5=d62c6ae2a72d7049cf38929918b78c50>
- Rauf M, Khaliq W, Khushnood RA, Ahmed I (2020) Comparative performance of different bacteria immobilized in natural fibers for self-healing in concrete. *Construction and Building Materials* 258: 119578. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85085243977&doi=10.1016%2fj.conbuildmat.2020.119578&partnerID=40&md5=bc780ed182cf35a5b9eb95de3dc18214>
- Reddy PN, Kavyateja BV (2019) Experimental study on strength parameters of self repairing concrete. *Annales de Chimie: Science Des Materiaux* 43: 305-310. <https://doi.org/10.18280/acsm.430505>
- Riad IM, Elshami AA, Elshikh MMY(2022) Influence of concentration and proportion prepared bacteria on properties of self-healing concrete in sulfate environment. *Innovative Infrastructure Solutions* 7: 71. <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00670-2>
- Rohini I, Padmapriya R (2018) Effect of bacteria subtilis on concrete substituted fully and partially with demolition wastes. *International Journal of Civil Engineering and Technology* 9: 230-243. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85054388550&partnerID=40&md5=6546c8bf97293758be2c0ee79d99b851>
- Saleem B, Hussain A, Khattak A, Khan A (2021) Performance evaluation of bacterial self-healing rigid pavement by incorporating recycled brick aggregate. *Cement and Concrete Composites* 117: 103914. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85098776556&doi=10.1016%2fj.cemconcomp.2020.103914&partnerID=40&md5=a255dabab0291e9d80c7419df8726731>
- Salmasi F, Mostofinejad D (2020) Investigating the effects of bacterial activity on compressive strength and durability of natural lightweight aggregate concrete reinforced with steel fibers. *Construction and Building Materials* 251: 119032. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820310370>
- Santhi Kala R, Chandramouli K, Pannirselvam N, Varalakshmi TV, Anitha V(2019) Strength studies on bio cement concrete. *International Journal of Civil Engineering and Technology* 10: 147-154. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85077664190&partnerID=40&md5=6cbda580a4eeffb38cfc-143126c1def1>
- Sarkar M, Adak D, Tamang A, Chattopadhyay B, Mandal S (2015) Genetically-enriched microbe-facilitated self-healing concrete—a sustainable material for a new generation of construction technology. *RSC Advances* 5: 105363-105371.
- Shaheen N, Khushnood RA, Khaliq W, Murtaza H, Iqbal R, Khan MH (2019) Synthesis and characterization of bio-immobilized nano/micro inert and reactive additives for feasibility investigation in self-healing concrete. *Construction and Building Materials* 226: 492-506. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85069965808&doi=10.1016%2fj.conbuildmat.2019.07.202&partnerID=40&md5=3cb72cc61583ce2dc9e133918d5c95b4>
- Souid A, Esaker M, Elliott D, Hamza O (2019) Experimental data of bio self-healing concrete incubated in saturated natural soil. *Data in brief* 26: 104394. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104394>
- Su Y, Feng J, Jin P, Qian C (2019) Influence of bacterial self-healing agent on early age performance of cement-based materials. *Construction and Building Materials* 218: 224-234. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.077>
- Tiwari S, Pal S, Puria R, Nain V, Pathak R P (2018) Microbial crack healing and mechanical strength of light weight bacterial concrete. *International Journal of Civil Engineering and Technology* 9: 721-731. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85059596885&partnerID=40&md5=5a576a22b6fb27332870dba914b4f088>
- Vashisht R, Attri S, Sharma D, Shukla A, Goel G (2018) Monitoring biocalcification potential of *Lysinibacillus* sp. Isolated from alluvial soils for improved compressive strength of concrete. *Microbiological Research* 207: 226-231. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85038893433&doi=10.1016%2fj.micres.2017.12.010&partnerID=40&md5=c693809cdea20a84fe097d-05578f04e>
- Vijay K, Murmu M (2019). Effect of calcium lactate on compressive strength and self-healing of cracks in microbial concrete. *Frontiers of Structural and Civil Engineering* 13: 515-525. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85050793084&doi=10.1007%2fs1170-9-018-0494-2&partnerID=40&md5=89ce-506cb0787d136b3fa2753a72ab8d>
- Wang X, Xu J, Wang Z, Yao W (2022) Use of recycled concrete aggregates as carriers for self-healing of concrete cracks by bacteria with high urease activity. *Construction and Building Materials* 337: 127581. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-851294577884&doi=10.1016%2fj.conbuildmat.2022.127581&partnerID=40&md5=f2b45d1c43d94c8d5dbfb9429ec5d1a5>
- Xu H, Lian J, Gao M, Fu D, Yan Y (2019) Self-healing concrete using rubber particles to immobilize bacterial spores. *Materials* 12: 2313. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85070467120&doi=10.3390%2fma12142313&partnerID=40&md5=ce3450d-2a484b946ad273e87156bbela>
- Xu J, Tang Y, & Wang X (2020) A correlation study on optimum conditions of microbial precipitation and prerequisites for self-healing concrete. *Process Biochemistry* 94: 266-272. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85084425848&doi=10.1016%2fj.procbio.2020.04.028&partnerID=40&md5=6922f09b0569094e11b77912d90c484d>
- Yuan J, Chen X, Alazhari M, Yan B, Zhang G (2020) Characterisation of Bacteria-Based Concrete Crack Rejuvenation by Externally Applied Repair. *Journal of Harbin Institute of Technology (New Series)* 27: 20-30. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85102823622&doi=10.11916%2fj.issn.1005-9113.18134&partnerID=40&md5=b3df586ffe7845e890a440c563cc0e81>
- Žáková H, Pazderka J, Ráková Z, Ryparová P (2019) Effect of bacteria bacillus pseudofirmus and fungus trichoderma reesei on self-healing ability of concrete. *Acta Polytechnica CTU Proceedings* 21: 45-45.
- Zhang Y, Guo HX, Cheng XH (2015) Role of calcium sources in the strength and microstructure of microbial mortar. *Construction and Building Materials* 77: 160-167. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.040>
- Zhang X, Jin Z, Li M, Qian C (2021) Effects of carrier on the performance of bacteria-based self-healing concrete. *Construction and Building Materials* 305: 124771. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85114246183&doi=10.1016%2fj.conbuildmat.2021.124771&partnerID=40&md5=18790b1073e1f8d787f95cc8b65df58f>
- Zhang LV, Nehdi ML, Suleiman AR, Allaf MM, Gan M, Marani A, Tuyan M (2021) Crack self-healing in bio-green concrete. *Composites Part B: Engineering* 227. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85116856274&doi=10.1016%2fj.compositesb.2021.109397&partnerID=40&md5=feb46bd558999b2363235b07d9e23ed1>



---

## **BACTERIAL SELF-HEALING OF CONCRETE: A SCOPING REVIEW**

Marlon Farfán-Córdova and Jorge Díaz-Ortega

### **SUMMARY**

*This scope study examines the progress in bacterial self-healing of concrete. 54 studies were reviewed, noting an increase in publications since 2015, with India leading the research. Various materials have been tested as substitutes in concrete, including fibers and recycled construction waste. The most commonly used bacteria are Bacillus subtilis and Bacillus*

*sphaericus, which improve the resistance of concrete through the production of calcite and crack repair. The presence of fibers, ashes, and construction waste can help protect bacteria in an alkaline environment. This study highlights the importance of bacterial self-healing in concrete and provides an overview of advances in this research field.*

## **AUTOCURA BACTERIANA DO CONCRETO: UMA REVISÃO DO ESCOPO**

Marlon Farfán-Córdova e Jorge Díaz-Ortega

### **RESUMO**

*Este estudo de escopo examina os avanços na autocura bacteriana do concreto. Cinquenta e quatro estudos foram analisados e foi observado um aumento nas publicações desde 2015, com a Índia liderando a pesquisa. Vários materiais foram testados como substitutos no concreto, incluindo fibras e resíduos de construção reciclados. As bactérias Bacillus subtilis e Bacillus sphaericus são as mais comumente*

*usadas, que aumentam a resistência do concreto por meio da produção de calcita e do reparo de rachaduras. A presença de fibras, cinzas e resíduos de construção pode ajudar a proteger as bactérias em um ambiente alcalino. Este estudo destaca a importância da autocura bacteriana no concreto e oferece uma visão geral dos desenvolvimentos nessa área de pesquisa.*