

Categorización de materiales autoregenerantes y su aplicación en la construcción arquitectónica en la ciudad de Quito, Ecuador

Categorization of self-regenerating materials and their application in architectural construction in the city of Quito, Ecuador

Jakelyne Arcos-Tana, Jefferson Torres-Quezada

RESUMEN

Los materiales de autorreparación o autoregenerantes tienen la capacidad de reparar y regenerar su estructura interna. Esta tecnología en desarrollo tiene el potencial de aumentar la durabilidad y la vida útil de las estructuras en la construcción, al mismo tiempo que reduce los costos de mantenimiento y reduce el impacto ambiental. Según revisiones bibliográficas y estudios realizados en Quito, el uso de materiales autoregenerantes en la construcción puede brindar una solución a los problemas de fisuras y agrietamientos que son los más comunes en la construcción de edificaciones de la ciudad, esto debido a que Quito se encuentra ubicada en una zona de alta actividad sísmica y variables climatológicas constantes. Los estudios arrojaron que el uso de materiales autoregenerantes en la construcción tiene un alto potencial para mejorar la durabilidad y la vida útil de las estructuras de construcción, además de expandir una conciencia de sostenibilidad y reducción del efecto ambiental de los residuos que deja la construcción, el uso de materiales autoregenerantes puede ser una solución que mitigue en buena parte esta problemática.

Palabras claves: Materiales autoregenerantes; construcción; vivienda; Quito.

Jakelyne Arcos-Tana 

Universidad Católica de Cuenca – Ecuador. jakelyne.arcos.33@est.ucacue.edu.ec

Jefferson Torres-Quezada 

Universidad Católica de Cuenca – Ecuador. jefferson.torres@ucacue.edu.ec

ABSTRACT

Self-healing or self-regenerating materials have the ability to repair and regenerate their internal structure. This developing technology has the potential to increase the durability and lifespan of structures in construction, while lowering maintenance costs and reducing environmental impact. According to bibliographical reviews and studies carried out in Quito, the use of self-regenerating materials in construction can provide a solution to the problems of fissures and cracks that are the most common in the construction of buildings in the city, this because Quito is in an area of high seismic activity and constant weather variables. The studies showed that the use of self-regenerating materials in construction has a high potential to improve the durability and useful life of construction structures, in addition to expanding awareness of sustainability and reducing the environmental effect of construction waste. The use of self-regenerating materials can be a solution that largely mitigates this problem.

Keywords: Self-regenerating materials; construction; housing; Quito.

1. Introducción

Una de las responsabilidades primordiales de los gobiernos seccionales de Ecuador es la prevención y control de riesgos de desastres, especialmente en las provincias que se ubican en regiones con alto riesgo de fenómenos hidrometeorológicos y sísmicos territorios propensos a sufrir desastres naturales. Las experiencias recientes demuestran que las estrategias de mitigación de riesgos, los planes y activación de planes y protocolos de emergencia, la asignación económica de recursos para la socialización e información de la población pueden reducir significativamente el impacto de los eventos catastróficos en los daños a la infraestructura, las pérdidas económicas y la pérdida de vidas (CDC, 2022).

Ecuador se encuentra dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico, por lo que la actividad sísmica es considerable, la investigación incluye hechos como el terremoto de 1906, que tuvo una fuerza de 8,8 en la escala de Richter, ubicándolo entre los mayores terremotos de la historia (Banco Interamericano de Desarrollo, 2020). Un nuevo movimiento telúrico con una magnitud de 7,1 ocurrió en agosto de 1997 en el área de Bahía de Caráquez, revelando importantes falencias relacionadas con el diseño sismorresistente de las edificaciones en Ecuador (Aguilar Falconi, 2017). No ha existido un control exhaustivo a las normativas sobre catástrofes en este país en más de un siglo, lo que resulta en un punto urgente de atención a este tema. Si bien, si existe una normativa de construcción en la legislación ecuatoriana, también es cierto que en el país se siguen realizando estudios sobre el tema (Quinde & Reinoso, 2016).

Los materiales autoregenerantes son una nueva clase de materiales que tienen la capacidad de repararse a sí mismos cuando se dañan (Reto Kömmerling, 2018). El uso de estos materiales tiene el potencial de revolucionar la industria de la construcción al reducir la necesidad de costosas reparaciones y mantenimiento. Los materiales de autorreparación se pueden fabricar a partir de una variedad de materiales, incluidos el hormigón, asfalto y polímeros. Funcionan incorporando

al material microcápsulas o redes vasculares, que liberan agentes cicatrizantes cuando el material se daña (Revista Área Tres, 2022). Esto permite que el material se repare a sí mismo sin necesidad de intervención externa. Los materiales de autorreparación se han utilizado en diversas aplicaciones, incluida la construcción de carreteras, la construcción de edificios e incluso en el desarrollo de celdas de combustible microbianas. El uso de materiales de autorreparación en la construcción puede dar lugar a estructuras más sostenibles y duraderas que permanezcan en forma para su vida útil de diseño a través de la autodetección y la autorreparación (Agrawal et al., 2017).

Existen varios ejemplos de materiales autoregenerantes utilizados en la construcción en otros países. Por ejemplo, el hormigón autorreparable se utiliza en los Países Bajos para reparar grietas en estructuras de hormigón. En Japón, los investigadores han desarrollado un asfalto autorreparable que puede reparar grietas en las carreteras y evitar baches. Además, investigadores en los Estados Unidos han desarrollado un polímero autorreparable que puede reparar grietas en concreto y asfalto (Agrawal et al., 2017). En Alemania, una empresa ha desarrollado un revestimiento autorreparable que puede repararse a sí mismo cuando se daña, protegiendo el material subyacente de daños mayores. Estos son solo algunos ejemplos de materiales autoregenerantes que se utilizan en la construcción en otros países.

Este trabajo de investigación está dirigido a la categorización de técnicas de autocuración como parte de metodologías de reparación y extensión de la vida útil de estructuras de diferentes tipos de materiales existentes en la construcción; es importante porque no solo puede garantizar la ratificación directa y oportuna en la industria de la construcción, sino también transformar la perspectiva de la infraestructura existente (Litina & Al-Tabbaa, 2020). La construcción es una actividad económica importante en la ciudad de Quito, Ecuador, así como en todo el mundo. Sin embargo, el uso de materiales de construcción tradicionales tiene un impacto ambiental considerable debido a la extracción de materias primas, las emisiones de gases de efecto invernadero y la generación de desechos. En este contexto, los materiales autoregenerantes pueden proporcionar una opción sostenible y eficaz para reducir el impacto ambiental de la construcción y, al mismo tiempo, mejorar la calidad de vida de quienes viven en las edificaciones.

Algunas estructuras de concreto reforzado experimentan agrietamiento prematuro o involuntario, lo que requiere medidas correctivas para evitar que los productos químicos erosivos entren y provoquen una degradación adicional (Stabnikov & Ivanov, 2016). La reparación de grietas no siempre es una tarea sencilla y puede provocar interrupciones en el servicio, interrupciones en el tráfico y otras consecuencias para la estructura. En comparación con la reparación de grietas, el hormigón autorreparable puede ser una alternativa rentable y una posible técnica para prolongar la vida útil de la estructura y reducir los gastos de mantenimiento (Doostkami et al., 2021).

El uso de materiales autoregenerantes en la construcción de viviendas en Ecuador podría tener varias ventajas, entre ellas menores costos de mantenimiento y reparación a largo plazo, mayor seguridad estructural y menor efecto ambiental. Sin embargo, es vital tener en cuenta que la tecnología de materiales autoregenerantes aún se encuentra en sus primeras etapas en el país, con aplicaciones limitadas en la construcción (Sierra Beltran et al., 2017).

Los materiales que usan bacterias u hongos para reparar fracturas en el concreto, o los materiales que usan microcápsulas que se rompen y liberan químicos para reparar daños en la superficie (Sierra Beltran et al., 2017), dos ejemplos de materiales de autorreparación que podrían usarse en la construcción de viviendas ecuatorianas.

2. Metodología

La metodología de esta investigación se basa una revisión sistemática de bibliográfica para recopilar información para la categorización de los materiales autoregenerantes, lo que ayudó a definir características de cada uno de los materiales autoregenerantes, dando como resultado cuál sería el de mejor desempeño y su uso específico para la posible aplicación.

Los siguientes pasos se realizaron para la revisión sistemática de bibliografía para obtener los resultados de cómo se puede categorizar los materiales sin embargo no se encontró una específica.

Antes de iniciar la investigación se definió el tema a investigar, los objetivos precisos, las preguntas de investigación y los criterios de inclusión y exclusión del estudio. La preocupación específica en este caso es la clasificación de los materiales autoregenerantes en la construcción.

Se realizó una búsqueda sistemática de la literatura relevante durante el proceso de desarrollo del proyecto, incluidas bases de datos académicas (Scopus, Web of Science, Scielo, Google Scholar), revistas científicas, libros, informes técnicos y otros recursos de información relevantes. Se emplearon exactamente las siguientes palabras clave, entre otras, “materiales autoregenerantes”, “construcción”, “categorización” y “autorreparación”, y se combinaron diferentes términos de búsqueda para producir resultados más precisos, de los cuales se obtuvieron un total de 72 artículos. Con la literatura del tema de investigación, se organizó una hoja de cálculo de Excel definiendo los siguientes parámetros para la filtración de información (Gómez-Luna et al., 2014).

Los parámetros seleccionados que se observan en el gráfico 1 fueron establecidos debido a que al realizar una búsqueda sistemática brinda facilidad para la valoración del siguiente punto a realizar.

Gráfico 1. Formato de recolección de información

Autor	Título de Publicación	Nombre de la Revista	Año de publicación	País	Fuente de Información	DOI/ISBN	Palabras claves

Fuente: elaborado por los autores.

Se eligieron los trabajos más relevantes para la investigación: una vez obtenidos los resultados de la búsqueda bibliográfica, se realizó una primera valoración de los estudios para concatenar datos y revisar si se ajustaban a los criterios de inclusión previamente definidos. Como parámetros

de búsqueda se destacó que la documentación bibliográfica date de los últimos diez años, una identificación profunda de los diferentes tipos de materiales autoregenerantes, las características técnicas de cada uno de los materiales.

Análisis sistemático de la información: En esta sección, la información obtenida de los estudios seleccionados fue analizada de manera crítica y lo más clara posible, con los principales hallazgos, se buscó tendencias y áreas de incertidumbre, se las identificó y se las comparó entre sí utilizando el programa de Microsoft Excel. Fue factible determinar cómo se han clasificado los materiales autoregenerantes en la construcción, los criterios utilizados para clasificarlos, las ventajas e inconvenientes de cada grupo, y los materiales específicos que se encuentran en cada uno de ellos.

Para determinar una muestra para la investigación sobre la aplicación de materiales autorreparables en Quito, se realizó una encuesta en línea para precisar la aplicación de estos materiales en la ciudad de Quito. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (2022), la población actual de Quito es de 2.239.191 según lo determinado en el censo más reciente. La misma autoridad establece en 2022 que el sector Construcción y sus derivados registra 519.383 empleos directos.

Definir la población: En este escenario se incluyen quienes viven en Quito y trabajan en la construcción y/o diseño de edificios y viviendas.

Determinar el tamaño de la muestra: En esta investigación se estableció que la muestra será obtenida de las personas que están involucradas en el tema de la construcción directamente sean estos: arquitectos, obreros, ingenieros civiles, arquitectos interioristas y demás afines, por lo tanto, se establece la muestra en el grafico 2.

Gráfico 2. Definición de la muestra

Calcula el tamaño de tu muestra

Tamaño de la población ⓘ 519.383

Nivel de confianza (%) ⓘ 80 ▼

Margen de error (%) ⓘ 10

Tamaño de la muestra

41

Fuente: <https://acortar.link/qwl7MW>

Con base en las cifras proporcionadas y tomadas del INEC (2022), el número de personas asociadas a la construcción es de 519,383 trabajadores; por lo tanto, para determinar el tamaño de la muestra, ya que es una investigación de aceptación y futura aplicación de materiales autoregenerantes, se generó con un 80% de confianza y un margen de error del 10%, dando como resultado

la encuesta a realizar. con 41 personas, lo que permitió definir la aceptación de estos materiales en la Ciudad de Quito.

Ponerse en contacto con los encuestados: se utilizó la aplicación Formularios de Google para realizar la encuesta en línea. Por su versatilidad en la utilización de contactos que se ajustan a los criterios especificados a través de las redes sociales.

Analizar los resultados: Una vez recopilada la información, los resultados fueron analizados y visualizados mediante herramientas como Excel y formularios de Google para asegurar que los resultados fueran correctamente comparados.

3. Desarrollo

Los materiales de autorreparación se pueden clasificar según el sistema de materiales para el que se desarrollaron, como metal, cerámica, hormigón, polímero y materiales compuestos. Por ejemplo, la cerámica autorreparable se informó por primera vez en la década de 1960, mientras que el primer informe de hormigón autorreparable por la precipitación de carbonato de calcio data de 1836 (Tomczak et al., 2021). El hormigón autorreparable se puede crear utilizando tanto sustancias químicas como biológicas. enfoques basados, como el uso de suministros de agua externos o incrustados para activar granos de cemento seco o bacterias para llenar los poros. Los compuestos cementosos reforzados con fibras (FRCC, por sus siglas en inglés) también pueden autoregenerarlas grietas causadas por la cristalización del carbonato de calcio en presencia de humedad, y algunos tipos de fibras de refuerzo con grupos polares, como el alcohol polivinílico (PVA) con un grupo hidroxilo, pueden inducir un mayor volumen de precipitación de cristales de carbonato de calcio a su alrededor que las fibras sin polaridad, como el polipropileno (PP). También se pueden desarrollar polímeros autoregenerantes, como el poli [(3,4-dihidroxiestireno)-co-estireno)] (P[3,4-DHS-S]), que imita al aminoácido 3,4-dihidroxifenilalanina (DOPA) que se encuentra en los mejillones marinos y puede endurecer y reformar los enlaces para inhibir o retardar la propagación de grietas sin estímulos ni energía externa (Balazs, 2007).

Se han desarrollado materiales de autorreparación para varios sistemas de materiales, incluidos metal, cerámica, hormigón, polímero y materiales compuestos (Nishiwaki et al., 2013). Los materiales autorreparables funcionan incorporando microcápsulas o redes vasculares en el material, que liberan agentes curativos cuando el material se daña (Nakao et al., 2021). Algunos ejemplos de materiales de autorreparación incluyen hormigón de autorreparación, que puede reparar grietas causadas por el uso mecánico con el tiempo mediante el uso de suministros de agua incorporados para activar granos de cemento secos o bacterias para llenar los poros, y/o polímeros de autorreparación, que pueden endurecer y reformar los enlaces para inhibir o retardar la propagación de grietas sin estímulos ni energía externos (Johnston, 2015).

Hay tres tipos de materiales autoregenerantes: biológicos, químicos y físicos. Los materiales biológicos de autorreparación reparan el daño utilizando microbios o células vivas. Los materiales

químicos de autorreparación, como los polímeros de autorreparación y los adhesivos reactivos, utilizan procesos químicos para reparar daños estructurales. Los materiales físicos de autorreparación, como los cementos de autorreparación y los compuestos de microcápsulas de curado, reparan el daño a través de diversos mecanismos físicos, como la autoalineación de partículas. La tabla 1 indica los materiales autoregenerantes existentes dentro de la recolección de información bibliográfica los cuales según sus características se clasificaron en cada una de sus categorías según la composición de estos.

Tabla 1. Categorización de materiales autoregenerantes

Materiales autoregenerantes biológicos	Materiales autoregenerantes químicos	Materiales autoregenerantes físicos
Cementos biológicos	Polímeros autoregenerantes	Materiales con microcápsulas
Materiales basados en madera	Hormigón autoregenerante	Materiales termoplásticos
Materiales basados en fibras naturales	Pinturas autoregenerantes	Materiales piezoeléctricos
Biocompuestos	Sellantes autoregenerantes	Materiales con propiedades autoreparantes.

Fuente: elaborado por los autores.

En cada una de estas categorías se presentan materiales autoregenerantes utilizados en el mundo de la construcción y se discuten los mecanismos de autoregeneración que utilizan. En la tabla 2 se muestran las ventajas y limitaciones de cada tipo de material autoregenerante para diferentes aplicaciones en la construcción.

La tabla 2 muestra ventajas y desventajas sobre los materiales autoregenerantes que se obtuvieron mediante la revisión bibliográfica.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de materiales autoregenerantes

Material	Descripción	Ventajas	Desventajas
Concreto autoregenerante	Este material contiene bacterias que producen carbonato de calcio, lo que permite la reparación de pequeñas grietas y fisuras en el concreto.	Durabilidad. Ahorro de costos. Reducción de residuos. Sostenibilidad.	Costo inicial. Complejidad. Tiempo de curado. Eficiencia limitada.
Vidrio autoregenerante	El vidrio autoregenerante tiene la capacidad de reparar pequeñas grietas y rasguños en su superficie mediante un proceso químico que implica la liberación de iones.	Durabilidad y vida útil. Capacidad de autolimpieza. Mayor eficiencia energética. Seguridad al reducir la probabilidad de rotura.	Más costoso. Capacidad de autoregeneración limitada. Limitaciones en cuanto a la variedad de estilos y diseños

Material	Descripción	Ventajas	Desventajas
Asfalto autoregenerante	Este material se compone de un polímero especial que tiene la capacidad de auto-repararse cuando se calienta y se presiona.	Mayor durabilidad y vida útil. Reducción de los costos de mantenimiento y reparación. Reducción de la cantidad de residuos. Mejora de la seguridad vial.	Costo inicial. Disminución de la resistencia a la abrasión. Limitaciones en la aplicación en climas fríos. Problemas potenciales de drenaje.
Materiales compuestos autoregenerante	Los materiales compuestos autoregenerantes contienen microcápsulas llenas de materiales regenerativos que se activan cuando hay daños en la superficie del material. El material regenerativo se libera para reparar las grietas y rasguños.	Mayor resistencia a la fatiga y la corrosión. Mayor durabilidad y vida útil prolongada. Reducción de costos de mantenimiento. Mayor resistencia a impactos y cargas dinámicas. Posibilidad de reparación autónoma de pequeñas grietas y daños. Reducción en la necesidad de reemplazo de piezas y componentes.	Mayor costo inicial en comparación con los materiales convencionales. Dificultad para la reparación de daños mayores. Mayor complejidad en el diseño y la fabricación. Limitaciones en la variedad de aplicaciones debido a la falta de estándares y regulaciones. Posible reducción en la resistencia a la tracción y la rigidez debido a la incorporación de materiales autoregenerantes.
Hormigón celular autoregenerante	Este material se compone de una mezcla de cemento y agua, que crea burbujas de gas en el interior del hormigón. Cuando se produce una grieta, el agua en las burbujas se evapora, creando una reacción química que rellena la grieta.	Alta resistencia y durabilidad debido a la incorporación de microcápsulas. Capacidad de autorreparación de grietas y fisuras. Mayor aislamiento térmico y acústico que el hormigón convencional. Reducción del peso de la estructura debido a la presencia de espuma en su composición.	Mayor costo en comparación con el hormigón convencional debido a la adición de microcápsulas. Dificultad en la fabricación y manipulación debido a su composición ligera. Limitaciones en cuanto a la resistencia mecánica.
Metales autoregenerantes	Algunos metales, como el hierro y el aluminio, pueden tener la capacidad de autoregenerarse en ciertas condiciones, como la exposición al oxígeno y la humedad.	Capacidad de autorreparación ante daños y fisuras en su estructura. Mayor resistencia y durabilidad. Capacidad de ser reciclados y reutilizados. Apto para su uso en entornos hostiles. Alta capacidad de carga y resistencia mecánica.	Mayor costo de producción y adquisición. Dificultad en su proceso de fabricación y aplicación en la construcción. Requieren de una adecuada protección para evitar su oxidación y corrosión. Su alta densidad puede dificultar su manipulación y transporte.

Material	Descripción	Ventajas	Desventajas
Madera autoregenerante	La madera autoregenerante se puede tratar con ciertos productos químicos que permiten que el material se repare a sí mismo cuando se produce algún daño en su superficie.	Potencialmente puede reparar pequeñas grietas y daños de forma natural. Puede reducir la necesidad de reemplazar la madera dañada. Menor impacto ambiental. La madera tiene una alta resistencia a la compresión.	La capacidad de autoregeneración de la madera puede ser limitada y no tan efectiva como otros materiales. No es tan duradera como otros tipos de madera tratada con conservantes químicos. La madera puede ser propensa a la pudrición y la descomposición. El uso de madera en la construcción puede no ser adecuado para todas las aplicaciones, especialmente aquellas que requieren resistencia al fuego o al agua.

Fuente: elaborado por los autores.

Concreto autoregenerante

El concreto autoregenerante es un tipo de concreto que tiene la capacidad de repararse a sí mismo en caso de que se produzcan grietas o fisuras. Esta tecnología se basa en la incorporación de agentes de curado en el concreto, como por ejemplo microcápsulas o fibras que pueden liberar sustancias reparadoras cuando se produce una grieta en el material (Pariona, 2021).

Estos agentes de curado pueden ser activados por diferentes factores, como la humedad o la presencia de agua en la grieta, lo que permite que el material se repare a sí mismo sin necesidad de intervención humana.

En la tabla 3 se muestra que existen diferentes tipos de concreto autoregenerante, cada uno con diferentes mecanismos de reparación y propiedades, se establece las especificaciones técnicas según la revisión bibliográfica de los materiales.

Tabla 3. Especificaciones del concreto autoregenerante

Material	Descripción	Mecanismo de autoregeneración	Propiedades	Eficacia del material
Concreto autónomo	Este tipo de concreto contiene bacterias que producen carbonato de calcio, el cual se deposita en las grietas y fisuras del material, permitiendo su autorreparación (Aguilar & Saldaña, 2021)	Biológico	Resistencia a la compresión: 25MPa a 28 días Densidad: 2200 kg/m ³ y 2600 kg/m ³ Relación agua-cemento: entre 0.35 y 0.45 Aditivos: Bacteria bacillus	La efectividad de la regeneración del concreto autónomo material autoregenerante puede variar dependiendo del tamaño y la ubicación de la grieta, así como de la cantidad y calidad de los aditivos utilizados.
Concreto con microcápsulas	Este concreto contiene microcápsulas que se rompen al producirse una grieta, liberando un material que se expande y rellena la fisura (Hernández-Piedrazul et al., 2022).	Físico	Resistencia a la compresión: 25MPa Densidad: 2200 kg/m ³ y 2600 kg/m ³ Relación agua-cemento: entre 0.35 y 0.45 Aditivos: Las microcápsulas deben ser lo suficientemente pequeñas como para no afectar significativamente las propiedades físicas del concreto, pero lo suficientemente grandes como para no ser arrastradas por el agua de lluvia.	El concreto con microcápsulas puede fraguar más lentamente que el concreto convencional, especialmente si se utilizan microcápsulas con un alto contenido de líquido encapsulado.
Concreto con fibras de forma especial	Este concreto tiene fibras de forma especial que se activan y reaccionan con el agua al entrar en contacto con las grietas, formando nuevos compuestos y permitiendo la autorreparación (Sierra Beltrán et al., 2017).	Físico	Resistencia a la compresión: 50 MPa o más para aplicaciones especiales como elementos prefabricados Densidad: 2200 kg/m ³ y 2600 kg/m ³ Relación agua-cemento: entre 0.35 y 0.45 Aditivos: Fibras de acero, fibras de vidrio, fibras de polímeros y fibras de carbono se recomienda utilizar entre un 0,5% y un 3% en volumen de fibras en la mezcla.	El concreto con fibras de forma especial mejora significativamente la resistencia a la tracción y la capacidad de carga del concreto, puede fraguar más lentamente que el concreto convencional debido a la presencia de las fibras.
Concreto con nanotubos de carbono	Este concreto contiene nanotubos de carbono que se activan al producirse una fisura, formando una red de nanotubos que sella la grieta y refuerza el material (Feng et al., 2022).	Químico	Resistencia a la compresión: 150 Mpa Densidad: 2200 kg/m ³ y 2600 kg/m ³ Relación agua-cemento: entre 0.35 y 0.45 Aditivos: Nanotubos de carbono se utiliza una dosis de entre 0,1% y 1% en peso del cemento.	Es capaz de deformarse sin romperse cuando se somete a cargas de tensión. Los nanotubos de carbono tienen una alta conductividad eléctrica, tiene una mayor resistencia al fuego que el concreto convencional

Material	Descripción	Mecanismo de autoregeneración	Propiedades	Eficacia del material
Concreto con geles poliméricos	Este tipo de concreto contiene geles poliméricos que se expanden y rellenan las fisuras, permitiendo la autoreparación del material (Johnston, 2015).	Químico	Resistencia a la compresión: 70 Mpa Densidad: 1,8 a 2,5 g/cm ³ Relación agua-cemento: entre 0.35 y 0.45 Aditivos: Nanotubos de carbono se utiliza una dosis de entre 0,1% y 1% en peso del cemento.	Tiene una absorción de agua muy baja, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en ambientes húmedos o expuestos a la intemperie, fraguado más rápido que el concreto convencional, mayor resistencia a los productos químicos que el concreto convencional

Fuente: elaborado por los autores.

Vidrio autoregenerante

Existen varios tipos de vidrio autoregenerante, cada uno con diferentes mecanismos de reparación y aplicaciones específicas, por lo tanto, en la tabla 4 se definen las descripciones de cada uno de los tipos de vidrios autoregenerante.

Tabla 4. Descripción de los tipos de vidrio autoregenerante

Material	Descripción
Vidrio con capa autoregenerante	Este tipo de vidrio tiene una capa especial en la superficie que se regenera por sí sola. Cuando se produce una fisura o rasguño en la capa, los iones de la superficie se reorganizan y llenan la fisura para repararla (Reto Kömmerling, 2018).
Vidrio fotocatalítico autoregenerante	Este vidrio contiene dióxido de titanio en su superficie, que se activa con la luz solar para descomponer la suciedad y los contaminantes en la superficie del vidrio. También tiene propiedades autoregenerantes, ya que la capa de dióxido de titanio puede reparar pequeñas fisuras en la superficie del vidrio (Nakao et al., 2021).
Vidrio con microcápsulas	Este vidrio tiene microcápsulas llenas de una sustancia líquida que se expande cuando se produce una fisura. Las microcápsulas se rompen al detectar la fisura y la sustancia líquida se expande para rellenar la fisura y reparar el vidrio (Revista Área Tres, 2022).
Vidrio con nanotecnología	Este vidrio contiene nanopartículas que se activan cuando se produce una fisura en la superficie del vidrio. Las nanopartículas se desplazan hacia la fisura y la rellenan para repararla (Balazs, 2007).
Vidrio laminado	Este tipo de vidrio se compone de dos o más capas de vidrio separadas por una capa intermedia de polímero. Si se produce una fisura en una capa de vidrio, la capa intermedia de polímero evita que la fisura se propague a la otra capa de vidrio (Balazs, 2007).

Fuente: elaborado por los autores.

Materiales compuestos autoregenerantes

Los materiales compuestos autoregenerantes son aquellos que combinan dos o más materiales con propiedades diferentes para lograr una mayor resistencia, durabilidad y capacidad de autorreparación (Roy et al., 2021). La tabla 5 muestra diferentes tipos de materiales compuestos

con sus respectivas descripciones debido a que no existen muchas investigaciones no se puede realizar una comparación para realizar especificaciones técnicas de cada uno.

Tabla 5. Descripción de materiales compuestos autoregenerantes

Material	Descripción
Polímeros termoplásticos con microcápsulas	Este tipo de material se compone de un polímero termoplástico y microcápsulas llenas de un líquido autoregenerante. Cuando se produce una fisura en el material, las microcápsulas se rompen y liberan el líquido autoregenerante para reparar la fisura (Balazs, 2007).
Compuestos de fibra de vidrio con nanotecnología	Este tipo de material compuesto se compone de una matriz de resina y fibras de vidrio, con nanopartículas añadidas para mejorar la resistencia y capacidad de autorreparación. Las nanopartículas se activan cuando se produce una fisura, rellenando la fisura y restaurando la integridad del material (Nakao et al., 2021).
Compuestos de metal con polímeros autoregenerantes	Este tipo de material compuesto se compone de un metal y polímeros autoregenerantes añadidos para mejorar la capacidad de autorreparación del material. Los polímeros se activan cuando se produce una fisura, rellenando la fisura y restaurando la integridad del material (Johnston, 2015).
Compuestos de cerámica con fibras autoregenerantes	Este tipo de material compuesto se compone de una matriz de cerámica y fibras autoregenerantes añadidas para mejorar la capacidad de autorreparación del material. Cuando se produce una fisura, las fibras se activan y se desplazan hacia la fisura para reforzarla y prevenir su propagación (Nishiwaki et al., 2013).

Fuente: elaborado por los autores.

Hormigón celular autoregenerante

El hormigón celular autoregenerante es un tipo de material que se caracteriza por su baja densidad y su capacidad para autorrepararse. La tabla 6 muestra especificaciones técnicas sobre los tipos de hormigones celulares autoregenerantes.

Tabla 6. Especificaciones técnicas de hormigón celular autoregenerante

Material	Descripción	Mecanismo de autoregeneración	Propiedades	Eficacia del material
Hormigón celular con microesferas de vidrio	Este tipo de hormigón celular se compone de una mezcla de cemento, agua, microesferas de vidrio y un agente espumante. Las microesferas de vidrio se utilizan para reducir la densidad del hormigón, mientras que el agente espumante crea una estructura porosa que mejora la capacidad de autorreparación del material (González et al., 2018).	Físico	Resistencia a la compresión: 0.2 a 1.5 MPa. Densidad: 400 kg/m ³ y 800 kg/m ³ Relación agua-cemento: entre 0.35 y 0.45 Aditivos: microesferas de vidrio y un agente espumante.	Conductividad térmica suele situarse entre 0,09 y 0,15 W/mK.

Material	Descripción	Mecanismo de autoregeneración	Propiedades	Eficacia del material
Hormigón celular con cenizas volantes	Este tipo de hormigón celular se compone de una mezcla de cemento, agua, cenizas volantes y un agente espumante. Las cenizas volantes se utilizan para reducir el costo del material, mientras que el agente espumante crea una estructura porosa que mejora la capacidad de autorreparación del material (González et al., 2018).	Físico	Resistencia a la compresión: 0,2 y 1.5 MPa Densidad: 400 kg/m ³ y 1600 kg/m ³ Relación agua-cemento: entre 0.35 y 0.45 Aditivos: cenizas volantes y un agente espumante.	El hormigón celular con cenizas volantes se utiliza en la construcción de muros, techos y otros elementos estructurales que requieren aislamiento y resistencia mecánica, como, por ejemplo, muros de contención, tabiques y paredes interiores. También se utiliza en la fabricación de elementos prefabricados.
Hormigón celular con fibras de vidrio	Este tipo de hormigón celular se compone de una mezcla de cemento, agua, fibras de vidrio y un agente espumante. Las fibras de vidrio se utilizan para mejorar la resistencia del hormigón, mientras que el agente espumante crea una estructura porosa que mejora la capacidad de autorreparación del material (Doostkami et al., 2021).	Físico	Resistencia a la compresión: 2 a 15 Mpa Densidad: 600 kg/m ³ y 1600 kg/m ³ Relación agua-cemento: entre 0.35 y 0.45 Aditivos: fibras de vidrio y un agente espumante.	Conductividad térmica típica de 0,1 a 0,4 W/mK. Ligereza, resistencia y capacidad de aislamiento térmico
Hormigón celular con microorganismos	Este tipo de hormigón celular se compone de una mezcla de cemento, agua, microorganismos y un agente espumante. Los microorganismos se utilizan para producir calcita en el material, lo que mejora su capacidad de autorreparación (Aguilar & Saldaña, 2021).	Físico	Resistencia a la compresión: 2 a 10 Mpa Densidad: 500 a 1600 kg/cm ³ Relación agua-cemento: entre 0.35 y 0.45 Aditivos: microorganismos y un agente espumante	La adición de microorganismos al hormigón celular mejora ligeramente su resistencia a la tracción.

Fuente: elaborado por los autores.

Madera autoregenerante

Actualmente, no existen tipos de madera autoregenerante en el sentido estricto de la palabra, ya que la madera es un material orgánico que no puede “repararse” por sí misma después de haber sido dañada (Revista Área Tres, 2022). Sin embargo, existen algunas tecnologías emergentes que permiten mejorar la resistencia y durabilidad de la madera. A continuación, la tabla 7 muestra

distintos tipos de madera autoregenerante con sus respectivas descripciones debido que no se puede realizar una comparación por la falta de información ya que se encuentra en etapa de investigación.

Tabla 7. Descripción de madera autoregenerante

Material	Descripción
Madera tratada con preservativos	Este proceso consiste en impregnar la madera con productos químicos que la protegen de los hongos, insectos y otros agentes que pueden dañarla. La madera tratada con preservativos tiene una mayor resistencia a la intemperie y una vida útil más larga que la madera sin tratar (Reto Kömmerling, 2018).
Madera termotratada	Este proceso consiste en calentar la madera a altas temperaturas en ausencia de oxígeno. Como resultado, la madera se vuelve más resistente y duradera, y adquiere un color más oscuro y uniforme (Revista Área Tres, 2022).
Madera laminada	Este proceso consiste en unir varias capas de madera con adhesivos para crear un material más resistente y duradero que la madera sólida. La madera laminada se utiliza en aplicaciones estructurales como la construcción de puentes y edificios (Johnston, 2015).
Madera modificada genéticamente	Esta tecnología es todavía experimental y consiste en modificar genéticamente las propiedades de la madera para hacerla más resistente y duradera. Por ejemplo, se están investigando genes que permitan a la madera producir compuestos químicos que la protejan de los hongos y otros agentes dañinos (Agrawal et al., 2017).

Fuente: elaborado por los autores.

Los materiales de construcción autoregenerantes, en general, pueden proporcionar mayor durabilidad y resiliencia al daño, minimizando la necesidad de reparaciones y mantenimiento a largo plazo. Además, algunos de estos materiales pueden mejorar la eficiencia energética de una casa al agregar aislamiento y disminuir la pérdida de calor (Agrawal et al., 2017).

La categorización de los materiales autoregenerantes en la construcción es una herramienta útil para comprender sus mecanismos e identificar sus ventajas y limitaciones en diversas aplicaciones. A medida que avanza la investigación en este sector, se prevé que el uso de materiales autoregenerantes en la construcción se convierta en una realidad económica y ambiental más prevalente y ventajosa.

Sin embargo, se puede afirmar que el uso de materiales autoregenerantes en la construcción está aumentando a nivel mundial debido a los beneficios ambientales, económicos y de sostenibilidad a largo plazo (Agrawal et al., 2017).

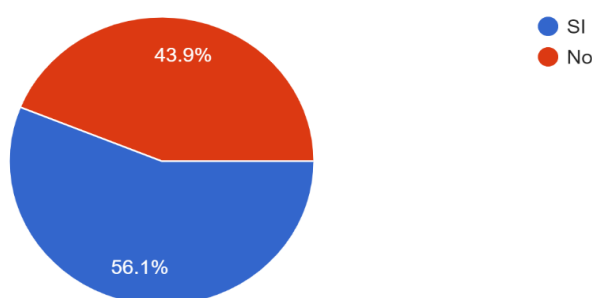
Según los hallazgos de 41 encuestas realizadas a miembros de la industria de la construcción en Quito, el uso de materiales autoregeneradores en la construcción aún se encuentra en sus primeras etapas en la ciudad, por lo que muchas personas pueden no estar familiarizadas con esta tecnología emergente. La información arrojada por la encuesta se recopila en el gráfico 3, de la que se obtuvieron los resultados importantes define que el 56.1% de los encuestados conocen o han oído hablar de los materiales autorregenerables, en el gráfico 4 expone que el 97,6% desconocen o no tienen ninguna referencia a cualquier construcción que se produzca con estos materiales en Quito.

El gráfico 3 representa en la encuesta un punto de inicio sobre el conocimiento en general sobre materiales autoregenerantes, el cual nos pone en consideración que si existe conocimiento sobre estos materiales sin embargo no es una gran diferencia ya que solo el 12.2% de diferencia equivalente a 5 personas de las que no tienen conocimiento sobre estos materiales, teniendo en cuenta que adquieren información todo el tiempo sobre la construcción.

Gráfico 3. Resultados de la encuesta

¿Ha escuchado alguna vez sobre el uso de materiales autoregenerantes en la construcción?

41 respuestas



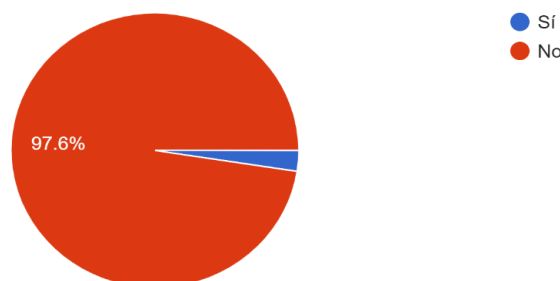
Fuente: elaborado por los autores.

El gráfico 4 se realizó dentro de la encuesta debido a que permite obtener una comparación sobre el uso de estos materiales en la ciudad de Quito.

Gráfico 4. Resultados de la encuesta

¿Ha visto alguna vez en Quito edificios o construcciones que utilizan materiales autoregenerantes?

41 respuestas



Fuente: elaborado por los autores.

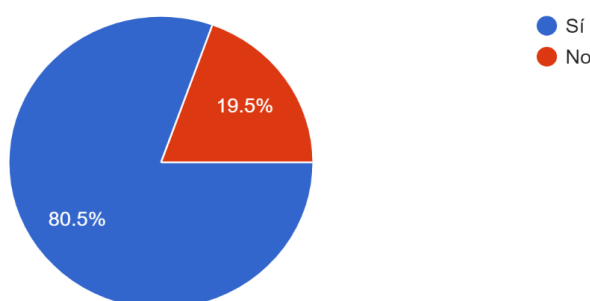
Los resultados también revelaron que el 80,5 % de los encuestados estaría dispuesto a pagar más por estos materiales si supiera que le ahorraría dinero a largo plazo. El uso de materiales autoregeneradores en la casa fue considerado aceptable por el 73,2% de los encuestados. Además, los materiales más familiares para estas personas son el hormigón autoregenerable.

El gráfico 5 en la encuesta define la aceptación del material autoregenerante dentro de la construcción a pesar de tener un costo más elevado, el cual define que si es aceptado en la ciudad de Quito.

Gráfico 5. Resultados de la encuesta

¿Estaría dispuesto a pagar un precio mayor por una construcción que utilice materiales autoregenerantes?

41 respuestas



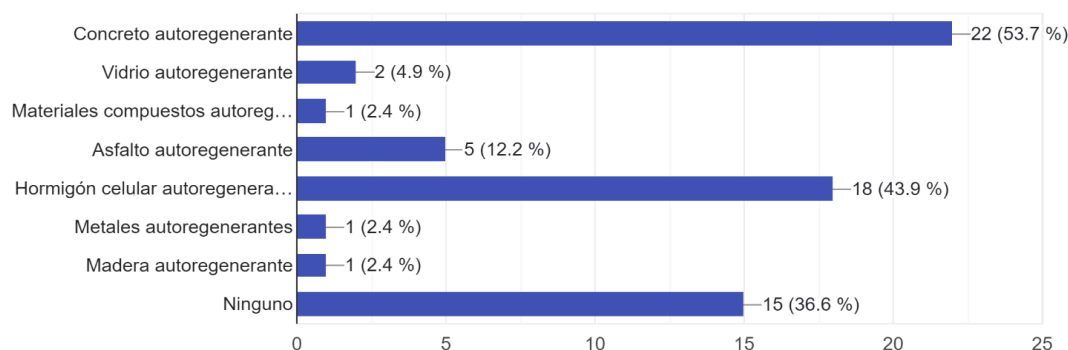
Fuente: elaborado por los autores.

El gráfico 6 representa en la encuesta el material más conocido de todas las categorías definidas en la investigación, por lo tanto, brinda un aporte importante al definir la aceptación de estos materiales en la construcción.

Gráfico 6. Resultados de la encuesta

¿Qué tipo de materiales autoregenerantes conoce?

41 respuestas



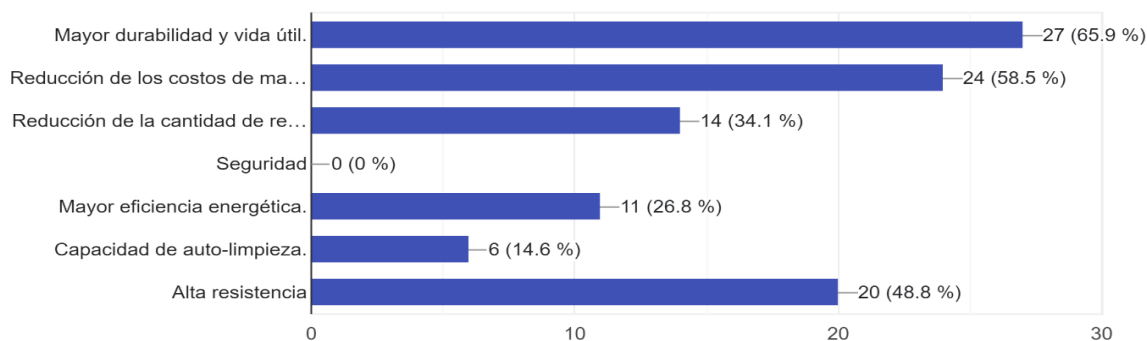
Fuente: elaborado por los autores.

El gráfico 7 define las ventajas que conocen las personas encuestadas, por lo tanto, la mayoría define como ventaja importante el tiempo de vida útil y durabilidad.

Gráfico 7. Resultados de la encuesta

¿Qué ventajas considera usted que podrían tener los materiales autoregenerantes en comparación con los materiales convencionales?

41 respuestas



Fuente: elaborado por los autores.

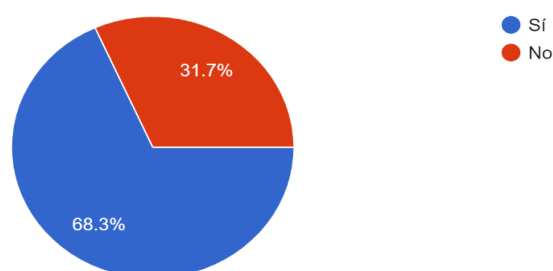
Dentro de los resultados obtenidos en el gráfico 8 muestra la aceptación de materiales autoregenerantes es muy buena ya que el 68.3% de los encuestados establecen que si usarían materiales autoregenerantes en viviendas asumiendo pagar un mayor precio debido a que su mantenimiento sería menos costoso.

El gráfico 8 indica en la encuesta la importancia de la aceptación de estos materiales en el área de construcción. Brindando como resultados una aceptación bastante amplia sobre su uso en Quito.

Gráfico 8. Resultados de la encuesta

¿Cree que los materiales autoregenerantes podrían ser una opción interesante para la construcción en Quito?

41 respuestas



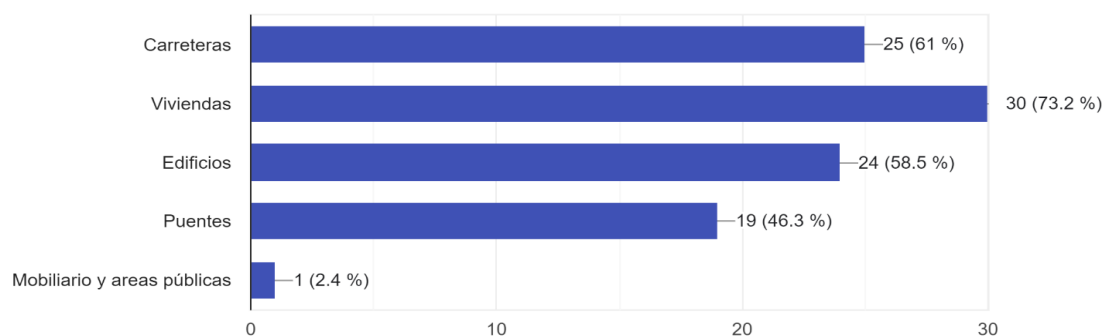
Fuente: elaborado por los autores.

El gráfico 9 indica que el uso de estos materiales autoregenerantes sería en las viviendas familiares.

Gráfico 9. Resultados de la encuesta

¿Qué tipo de aplicaciones de materiales autoregenerantes cree que serían más útiles para Quito?

41 respuestas



Fuente: elaborado por los autores.

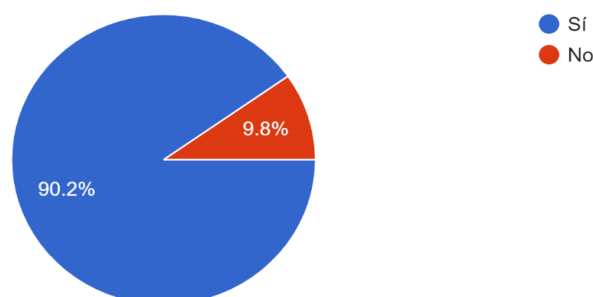
En general, los resultados de la aplicación de materiales autoregenerantes en la construcción son positivos y sugieren que estos materiales pueden ser una alternativa sostenible y rentable a los materiales convencionales. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la implementación de estos materiales puede requerir una mayor inversión inicial y una planificación cuidadosa para garantizar su correcta instalación y funcionamiento.

El gráfico 10 define que si es importante el uso de los materiales autoregenerantes en la ciudad de Quito.

Gráfico 10. Resultados de la encuesta

¿Cree que el gobierno de Quito debería promover el uso de materiales autoregenerantes en la construcción?

41 respuestas



Fuente: elaborado por los autores.

4. Discusión

Los materiales autoregenerables tienen el potencial de revolucionar la industria de la construcción al proporcionar una solución más sostenible y duradera a los materiales tradicionales. El concreto autorreparable, por ejemplo, puede reparar grietas causadas por el uso mecánico con el tiempo mediante el uso de suministros de agua integrados para activar granos de cemento secos o bacterias para llenar los poros. Los compuestos cementosos reforzados con fibra (FRCC) también pueden autorreparar las grietas causadas por la cristalización del carbonato de calcio en presencia de humedad, y algunos tipos de fibras de refuerzo pueden inducir un mayor volumen de precipitación de cristales de carbonato de calcio a su alrededor que las fibras sin polaridad (Nishiwaki et al., 2013). Los materiales autoregenerables pueden conducir a una vida útil más larga, reducir la ineficiencia con el tiempo causada por la degradación, así como evitar los costos incurridos por la falla del material lastimosamente de acuerdo con los datos arrojados en la encuesta en la ciudad de Quito no existen construcciones que trabajen con este tipo de materiales (ver gráfico 4). Los materiales de autoreparación también pueden reducir los costos de producción de varios procesos industriales diferentes en el gráfico 3 de la encuesta demuestra que los profesionales de la construcción la mayoría no ha escuchado sobre materiales autoregenerantes haciendo notoria la falta de capacitación y de apoyo por parte de los gobiernos locales. Los materiales de autoreparación se pueden desarrollar para varios sistemas de materiales, incluidos metal, cerámica, hormigón, polímero y materiales compuestos (Hernández-Piedrazul et al., 2022).

El campo de la construcción se beneficiaría enormemente de la implementación de materiales autoregenerantes debido a su capacidad para reducir costos de mantenimiento y aumento de la durabilidad en las estructuras. En Ecuador, donde la construcción es un sector en crecimiento, la adopción de materiales autoregenerantes podría tener un impacto significativo en la economía y en la sostenibilidad de las construcciones (Sierra Beltran et al., 2017).

El gráfico 9 de la encuesta realizada expone que es importante la implementación de materiales autoregenerantes en la construcción de viviendas familiares en Ecuador puesto que, tendría varios beneficios, como la reducción de costos de mantenimiento y reparación a largo plazo, la mejora de la seguridad estructural y la disminución del impacto ambiental. Sin embargo, es importante destacar que la tecnología de materiales autoregenerantes aún se encuentra en una etapa temprana de desarrollo y su uso en la construcción es aún limitado (Sierra Beltran et al., 2017).

La comparación de precios entre materiales autoregenerantes y materiales típicos puede variar dependiendo del tipo de material y la ubicación geográfica. En general, los materiales autoregenerantes suelen tener un costo más alto que los materiales convencionales debido a la tecnología y los procesos de producción que se requieren para su fabricación. Sin embargo, también es importante tener en cuenta que los materiales autoregenerantes pueden ofrecer ventajas significativas en términos de durabilidad y mantenimiento, lo que puede reducir los costos a largo plazo (Doostkami et al., 2021).

Por ejemplo, el concreto autoregenerante puede ser más costoso que el concreto convencional debido a los aditivos y procesos de fabricación adicionales, pero también puede reducir los costos de mantenimiento y reparación a largo plazo debido a su capacidad para reparar pequeñas grietas y fisuras. Del mismo modo, los materiales compuestos autoregenerantes pueden tener un costo más alto que los materiales compuestos convencionales debido a la inclusión de materiales regenerativos, pero también pueden prolongar la vida útil del material y reducir los costos de reemplazo (Aguilar & Saldaña, 2021).

A partir de la investigación y encuesta realizada se definieron las ventajas que contribuyen estos materiales autoregenerantes dentro de los cuales son estas:

- **Mayor durabilidad:** Los materiales autoregenerantes suelen tener una mayor durabilidad en comparación con los materiales convencionales. Esto se debe a que tienen la capacidad de reparar las fisuras y daños que se producen con el tiempo.
- **Reducción de costos de mantenimiento:** Al ser capaces de repararse a sí mismos, los materiales autoregenerantes pueden reducir los costos de mantenimiento a largo plazo. Esto es especialmente beneficioso para los propietarios de viviendas que desean reducir los costos de mantenimiento y aumentar la vida útil de sus propiedades.
- **Menor impacto ambiental:** Los materiales autoregenerantes pueden reducir el impacto ambiental de la construcción al reducir la necesidad de extraer y procesar nuevos materiales. Además, como requieren menos mantenimiento, generan menos residuos y emisiones durante su ciclo de vida.
- **Mejora de la calidad del aire interior:** Algunos materiales autoregenerantes, como los revestimientos de paredes y techos, tienen propiedades que ayudan a mejorar la calidad del aire interior. Por ejemplo, algunos materiales pueden absorber contaminantes del aire y reducir el crecimiento de moho y bacterias.

5. Conclusión

Los investigadores a nivel mundial están adoptando enfoques tanto químicos como biológicos para crear materiales autorreparables. En conclusión, los materiales de autoreparación tienen el potencial de proporcionar una solución más sostenible y duradera a los materiales tradicionales en la industria de la construcción, lo que lleva a una vida útil más larga, a la reducción de la ineficiencia con el tiempo causada por la degradación, así como la evasión de los costos incurridos por la falla del material.

Aunque la investigación sobre materiales autoregenerantes en la construcción aún se encuentra en sus primeras etapas, existen algunos ejemplos de materiales autoregenerantes que se han utilizado en Ecuador. Por ejemplo, se ha utilizado un Hormigón autorreparable con bacterias y reforzado con fibras naturales en la provincia de Tungurahua (Sierra Beltran et al., 2017).

En general, los resultados de la aplicación de materiales autoregenerantes en la construcción son favorables en la ciudad de Quito y sugieren que estos materiales pueden ser una alternativa sostenible y rentable a los materiales convencionales, es de vital importancia que las normativas de construcción vigentes en la ciudad de Quito fortalezcan e impulsen el uso de estos materiales autoregenerantes en construcciones de gran formato dentro de la ciudad.

También es importante tener en cuenta que la implementación de estos materiales puede requerir una mayor inversión inicial y una planificación cuidadosa para garantizar su correcta instalación y funcionamiento, contrastando que el mantenimiento será menos costoso y la vida útil de estas construcciones se prologará en unos 5 años aproximadamente.

Esto será posible siempre que los materiales autoregenerantes cumpla con las pruebas de calidad estipuladas por las normativas de construcción correspondientes en la ciudad de Quito. La investigación también aporta que otro de los beneficios a largo plazo, es que estos materiales autoregenerantes pueden retrasar la corrosión del acero contenido en la estructura, gracias a que las bacterias reaccionan en contacto con el agua y humedad, evitando el contacto directo con el acero de refuerzo.

A partir de la categorización realizada en esta investigación es importante evaluar cuidadosamente los costos y beneficios a largo plazo de cada material autoregenerante que se puedan usar en la construcción de viviendas familiares ubicadas en la ciudad de Quito compartiendo la responsabilidad de llevar procesos de construcciones sustentables, antisísmicas y de bajo impacto ambiental.

Referencias

- Agrawal, Y., Saxena, R., Gupta, T., & Sharma, R. (2017). Sustainable structures for smart cities and its performance evaluation. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4(6), 3095-3106
- Aguiar Falconi, R. (2019). Peligrosidad sísmica de la costa norte de Ecuador y el terremoto de Pedernales de 2016. *Revista Geofísica*, (67), 9–24. <https://revistasipgh.org/index.php/regeofi/article/view/159>
- Aguilar, M., & Saldaña, H. (2021). *Bio-concreto con la Bacteria Bacillus Subtilis para el Diseño Estructural de Vivienda, Comas*. [Tesis pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/90813>
- Balazs, A.C. (2007). Modeling self-healing materials. *Materials Today*, 10(9), 18–23. [https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(07\)70205-5](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(07)70205-5)
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2020). *Perfil de riesgo de desastres por evento sísmico de Ecuador*. <https://doi.org/10.18235/0002852>

- Doostkami, H., Roig-Flores, M., & Serna, P. (2021). Self-healing efficiency of Ultra High-Performance Fiber-Reinforced Concrete through permeability to chlorides. *Construction and Building Materials*, 310, 125168. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.125168>
- Feng, J., Rohaizat, R. E. B., & Qian, S. (2022). Polydopamine@carbon nanotube reinforced and calcium sulphoaluminate coated hydrogels encapsulating bacterial spores for self-healing cementitious composites. *Cement and Concrete Composites*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104712>
- Gómez-Luna, E., Fernando-Navas, D., Aponte-Mayor, G., & Betancourt-Buitrago, L. A. (2014). Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. *DYNA*, 81(184), 158–163. <https://doi.org/10.15446/DYNA.V81N184.37066>
- Gonzalez, A., Parraguez, A., Corvalan, L., Correa, N., Schliebs, E., & Stuckrath, C. (2018). *Hormigón autorreparable con bacterias para la infraestructura vial*. 13° Congreso Internacional PRO-VIAL, Arica, Chile.
- Hernández-Piedrazul, E., Castañeda-Robles, I. E., & Lizárraga-Mendiola, L. (2022). El bioconcreto como agente reparante en estructuras de concreto. *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, 10(Especial2), 176–183. <https://doi.org/10.29057/icbi.v10iEspecial2.8667>
- Johnston, M. L. (2015). *A bio-inspired self-healing polymer system for sustainable plastics*. [Bachelor's dissertation, Purdue University]. <https://docs.lib.purdue.edu/dissertations/AAI10187984/>
- Litina, C., & Al-Tabbaa, A. (2020). First generation microcapsule-based self-healing cementitious construction repair materials. *Construction and Building Materials*, 255, 119389. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.119389>
- Reto Kömmerling. (2018, septiembre 04). *Materiales que se autoregeneran*. <https://retokommerling.com/materiales-se-auto-regeneran/>
- Nakao, W., Osada, T., Nishiwaki, T., & Otsuka, H. (2021). Focus on self-healing materials: recent challenges and innovations. *Science and Technology of Advanced Materials*, 22(1), 234. <https://doi.org/10.1080/14686996.2021.1888528>
- Nishiwaki, T., Yamada, M., Kikuta, T., Kwon, S., & Mihashi, H. (2013). *Experimental study on evaluation of self-healing capability of FRCCs comprising different components*. [Conference] 4th International Conference on Self-Healing Materials, Ghent, Belgium
- Pariona, J. (2021). *Bacterias alcalófilas en la auto-reparación de fisuras en concretos sostenibles*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú] <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6905>
- CDC. (2022, March 15). *Preparación para un terremoto*. <https://www.cdc.gov/es/disasters/earthquakes/prepared.html>
- Quinde, P., & Reinoso, E. (2016). Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca. *Revista de ingeniería sísmica*, 94. <https://doi.org/10.18867/ris.94.274>
- Revista Área Tres. (2022, junio 14). *Ingeniería genética, materiales regenerativos y paredes que se reparan solas*. <https://acortar.link/vEleku>

- Roy, R., Rossi, E., Silfwerbrand, J., & Jonkers, H. (2021). Self-healing capacity of mortars with added-in bio-plastic bacteria-based agents: Characterization and quantification through micro-scale techniques. *Construction and Building Materials*, 297, 123793. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123793>
- Sierra Beltran, G., Mera Ortiz, W., & Jonkers, H. M. (2017). Hormigón autorreparable con bacterias y reforzado con fibras naturales: Principios y aplicaciones en Ecuador. *Alternativas*, 17(3), 207–214. <https://doi.org/10.23878/alternativas.v17i3.229>
- Stabnikov, V., & Ivanov, V. (2016). Biotechnological production of biopolymers and admixtures for eco-efficient construction materials. *Biopolymers and Biotech Admixtures for Eco-Efficient Construction Materials*, 37–56. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100214-8.00003-8>
- Tomczak, K., Jakubowski, J., & Kotwica, L. (2021). Enhanced autogenous self-healing of cement-based composites with mechanically activated fluidized-bed combustion fly ash. *Construction and Building Materials*, 300, 124028. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.124028>

AUTORES

Jakelyne Arcos-Tana. Arquitecta de interiores con una sólida formación académica y una amplia experiencia en el diseño de espacios funcionales y estéticamente atractivos.

Jefferson Torres-Quezada. Doctor en arquitectura y docente investigador en la Universidad Católica de Cuenca.

DECLARACIÓN

Conflicto de interés

No tenemos ningún conflicto de interés que declarar.

Financiamiento

Sin ayuda financiera de partes ajenas a este artículo.

Nota

El artículo es original y no ha sido publicado previamente.