

## Concreto vivo

*Mamá: ¿Cómo puede el hormigón estar vivo?*



**Figura 1:** Combinando células microbianas y cemento para generar “hormigón vivo”. Las comunidades microbianas se colocan en el hormigón para mejorar sus propiedades

**Tatyana L. Povolotsky<sup>1</sup>, Arkadi Kolodkin<sup>2</sup>, Martyn Dade-Robertson<sup>3</sup> e Ilana Kolodkin-Gal<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Genética Molecular, Instituto de Ciencias Weizmann, Rehovot, 76100, Israel, <sup>2</sup> Consultoría Estructural, Tel Aviv, Israel <sup>3</sup> Facultad de Arquitectura, Planificación y Paisaje, Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales, Universidad de Newcastle, Reino Unido.

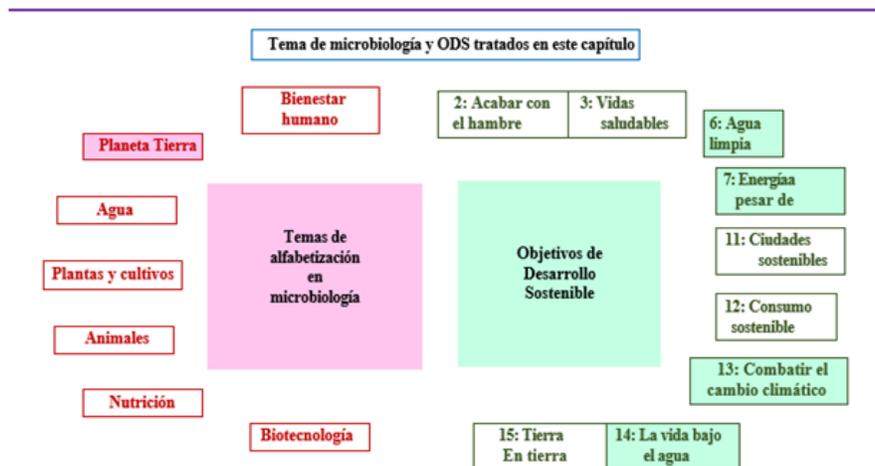
## Concreto vivo

### Sinopsis

El hormigón es esencial para la construcción del entorno construido por el hombre y se utiliza en la mayoría de los edificios civiles, si no en todos, destinados a la atención sanitaria, la industria, la educación y el transporte. La vida moderna no es viable sin hormigón. Sin embargo, como ocurre con muchos materiales artificiales, la producción de hormigón conlleva un elevado coste medioambiental. La producción de hormigón es responsable de un importante 4-8% de todo el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) liberado en el mundo, lo que aumenta el efecto invernadero y el consiguiente cambio climático. La arquitectura moderna y la microbiología pueden unir fuerzas para desarrollar enfoques de construcción sostenibles. En este artículo, analizamos el posible uso de bacterias en el diseño de materiales "autoreparadores" para la construcción con una morfología y una función versátiles. También analizamos cómo estos descubrimientos recientes pueden cambiar las estrategias actuales de construcción y especulamos que las comunidades de biopelículas y el microbioma de la piedra pueden utilizarse para construir edificios respetuosos con el medio ambiente con capacidades "autoreparadoras".

### La microbiología y el contexto social

*La microbiología:* biocemento, biomineralización, esporas y esporulación, matriz extracelular, biofilm, bioprotección de edificios y obras de arte en piedra, contaminación, materiales inteligentes, emisión de dióxido de carbono y producción de gases de efecto invernadero a partir del hormigón, sustitutos basados en microbios. Y, de manera periférica, para completar la historia: microbioma de la piedra, diseño de nuevos materiales, esporas microbianas. Cuestiones de sostenibilidad: salud; economía y empleo, contaminación ambiental, calentamiento global.



### Hormigón vivo: La Microbiología

**1. El hormigón y el cemento son esenciales para la construcción moderna.** El hormigón es un material esencial para la civilización humana. Es el material principal que se utiliza en prácticamente todos nuestros edificios e infraestructuras esenciales y, literalmente, nos permite tener un techo sobre nuestras cabezas. Por lo tanto, la vida moderna no es posible sin el hormigón. El hormigón es un material complejo compuesto por agregados finos y gruesos (arena, grava, piedra triturada) unidos entre sí con una pasta de cemento que se endurece con el tiempo. En general, el hormigón está compuesto de carbonato de calcio. Este mineral es una sal de calcio, un metal reactivo alcalinotérreo, y carbonato. Las formas cristalinas de carbonato de calcio también se utilizan a menudo como material estructural en organismos complejos. Por ejemplo, los huesos y dientes de los mamíferos están compuestos de fosfato de calcio cristalino, mientras que las estructuras de los corales y las estrellas de mar se basan en exoesqueletos de carbonato de calcio cristalino.

El cemento reacciona con el agua y otros ingredientes para formar una matriz dura que une los materiales agregados y los convierte en un material duradero similar a la piedra que tiene muchos usos. El cemento es el material preferido debido a su alta resistencia, menor costo y facilidad de producción, durabilidad y flexibilidad para ser moldeado en diversas formas geométricas. El hormigón generalmente tiene una alta resistencia a la compresión y, cuando se combina con acero, el material compuesto también tiene una alta resistencia a la tracción y se puede utilizar para construir mega-estructuras, desde rascacielos hasta represas y puentes.

**2. El hormigón y el cemento son perjudiciales para el medio ambiente y causan importantes emisiones de gases de efecto invernadero.** Sin embargo, como ocurre con la mayoría de las tecnologías de fabricación, la producción de hormigón tiene un coste medioambiental. El hormigón es responsable del 4-8% de todas las emisiones de dióxido de carbono del mundo, teniendo en cuenta todas las etapas de producción, mientras que la industria de la construcción en su conjunto puede representar el 18%.

**Dióxido de carbono** El CO<sub>2</sub> es un gas traza importante en la atmósfera terrestre, que actualmente constituye alrededor del 0,04% (400 partes por millón) de la atmósfera. El CO<sub>2</sub> es un potente factor del efecto invernadero, que causa el calentamiento global. Es probable que la concentración actual de CO<sub>2</sub> atmosférico sea la más alta de los últimos 20 millones de años. Debido a la mayor acumulación de CO<sub>2</sub>, se ha producido un rápido aumento de las temperaturas cercanas a la superficie. La mayor parte de la energía adicional almacenada en el sistema climático desde 1970 se ha destinado al calentamiento de los océanos, lo que, a su vez, ha derretido el hielo y calentado los continentes y la atmósfera. Muchos de los cambios observados desde la década de 1950 no tienen precedentes. A medida que el CO<sub>2</sub> se acumula en la atmósfera, también se disuelve en los océanos, ríos y lagos, lo que contribuye a la acidificación de los océanos.

**3. El hormigón se deteriora con el tiempo.** Una vez construido, el hormigón se considera un material resistente. Sin embargo, pueden producirse problemas conocidos como grietas o descascarillado. Los daños en el hormigón armado hacen que el refuerzo de acero quede expuesto y que el agua corroa los refuerzos y provoque daños permanentes e irreparables.

**4. Microorganismos que pueden mejorar el rendimiento del hormigón.** Las bacterias son microorganismos unicelulares, a menudo capaces de reproducirse rápidamente. Diversas especies habitan

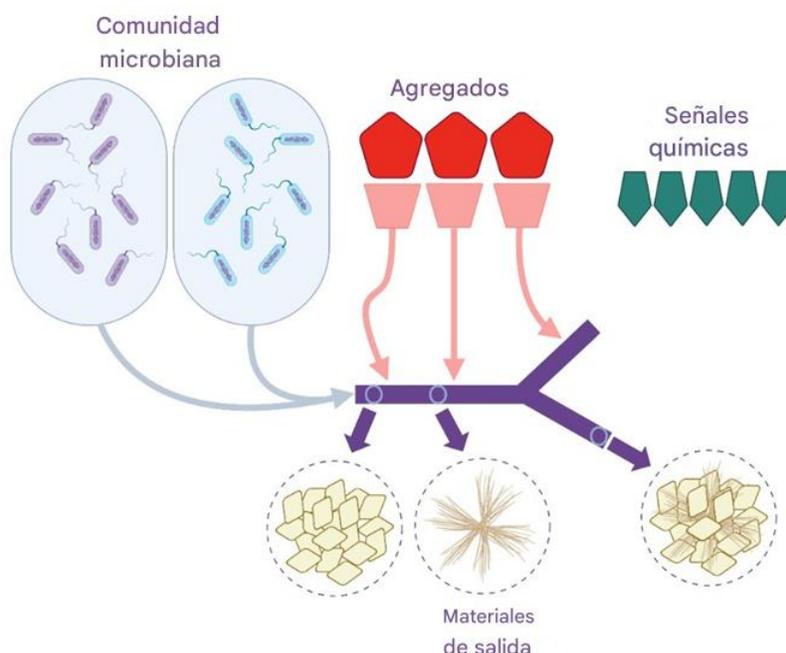
## Un marco de educación en microbiología centrado

una amplia gama de entornos diferentes. La capacidad de los microbios para generar biomasa de rápido crecimiento se explota en una variedad de entornos industriales y ambientales.

Las bacterias se pueden utilizar como aditivos ecológicos para mejorar el rendimiento del cemento y el hormigón, y un cemento mejorado con microorganismos o sus productos se suele denominar biocemento. El concepto de utilizar bacterias para mejorar el rendimiento del hormigón está bien establecido. El hormigón está compuesto de  $\text{CaCO}_3$  y las bacterias pueden producir este mineral de forma natural en respuesta a estímulos ambientales. La aplicación de bacterias al hormigón para crear biocementos o materiales autorreparadores tiene una serie de ventajas sobre otros materiales más enfoques tradicionales. Por ejemplo, se ha demostrado que el hormigón con esporas (semillas bacterianas) mezcladas con el agregado aumenta significativamente la vida útil de los materiales de hormigón al desencadenar un proceso de biomineralización cuando las esporas se exponen al agua. El crecimiento bacteriano resultante desencadena la formación de carbonato de calcio y vuelve a sellar las grietas, impidiendo la penetración de agua, protegiendo los refuerzos de acero y, por lo tanto, mejorando el rendimiento estructural y la longevidad del material. Además, el proceso de biomineralización consume dióxido de carbono y no requiere ningún aporte de energía.

**5. Producción microbiana de carbonato para la construcción.** La biomineralización bacteriana del carbonato es un fenómeno bien establecido. Mientras que el calcio está disponible en el ambiente, el bicarbonato se produce activamente mediante la hidratación del  $\text{CO}_2$  ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$ ), donde la fuente, el  $\text{CO}_2$ , puede ser un subproducto del metabolismo bacteriano o estar disponible en el entorno inmediato.

La precipitación de carbonato de calcio inducida por bacterias se ha propuesto como un método respetuoso con el medio ambiente de síntesis de materiales para diversas aplicaciones en la construcción (Figura 2).



**Figura 2:** Un marco para el uso de comunidades microbianas para la construcción. La comunidad microbiana se mezcla con diferentes sustancias agregadas que afectarán la forma final de los minerales microbianos. Estas comunidades se pueden mejorar con estímulos químicos para mejorar su rendimiento comunitario y la producción de carbonato de calcio. El material cementoso final es respetuoso con el medio ambiente y se puede diseñar en

## Un marco de educación en microbiología centrado

múltiples formas y con propiedades versátiles. El gráfico se realizó con el software BioRender.

Las aplicaciones de las bacterias en la construcción incluyen:

- a. *Refuerzo de materiales de suelo y arena para mejoras del terreno.* Técnicas de mejora del suelo. Se utilizan cuando el suelo subyacente no cumple con los criterios requeridos, como la capacidad de carga adecuada para los cimientos de los edificios, la estabilidad suficiente de las pendientes y la capacidad de drenaje/permeabilidad del suelo adecuada para los cimientos de los edificios, las carreteras y otros asentamientos.
- b. *Rescate de edificios de interés histórico.* El aumento de la contaminación ambiental en muchas áreas puede poner en peligro la supervivencia de la piedra carbonatada de importancia histórica, por ejemplo, a través de la lluvia ácida, que tiende a disolver las capas superficiales del material pétreo. Se pueden aplicar cultivos microbianos a estas superficies para proteger las capas externas y darles capacidad de autocuración.
- c. *Mejora de la durabilidad de los materiales cementantes los productos y actividades microbianos* fueron se ha demostrado que mejora la resiliencia del cemento al estrés ambiental.

**6. *Uso de microbios para hormigón “autocurativo”.*** Los cultivos microbianos se pueden utilizar para la generación de “auto-hormigón curativo” para reparar grietas en el hormigón. En una aplicación reciente, se mezclaron esporas de *Bacillus megaterium* y nutrientes secos adecuados y se aplicaron al hormigón reforzado con acero. Cuando el hormigón se agrieta, la entrada de agua disuelve los nutrientes y las bacterias germinan, lo que desencadena la precipitación de carbonato de calcio, vuelve a sellar la grieta y protege el refuerzo de acero de la corrosión.

Las células microbianas se utilizan a menudo para la innovación tecnológica que busca minimizar el problema de las grietas en las estructuras de hormigón. La incorporación de bacterias en la matriz del hormigón se ha utilizado con el objetivo final de cerrar poros y grietas. Por lo tanto, las bacterias se consideran un agente autocurativo de las grietas del hormigón, porque tienen la capacidad de precipitar minerales que cierran las grietas de forma autónoma. En los últimos tiempos, un principio básico de la aplicación de la producción microbiana de  $\text{CaCO}_3$  para crear hormigón autocurativo es que las bacterias y otros agentes relevantes se añaden a la matriz del hormigón durante el vertido y se ha aceptado ampliamente.

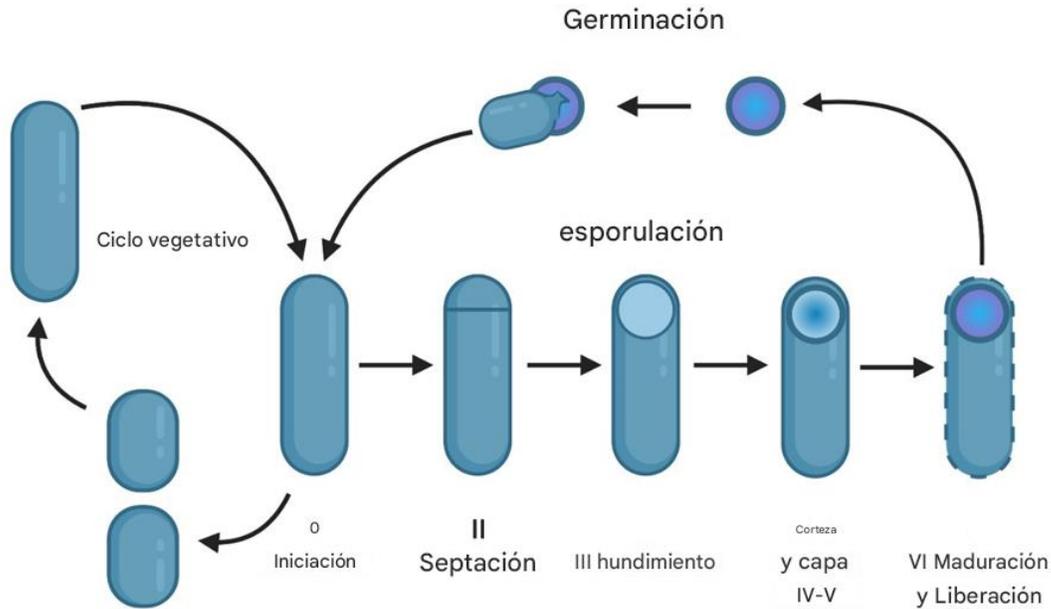
La Figura 2 ilustra este proceso. Las esporas microbianas, un tipo de célula latente que puede sobrevivir en condiciones extremas, o células vegetativas, se colocan en microcápsulas (representadas en azul claro). Luego, las microcápsulas se mezclan con mortero, un material de construcción compuesto de cemento mezclado con arena fina, agua y cal para mejorar la durabilidad del producto. La forma y el rendimiento deseados del material se pueden controlar agregando sustancias agregadas que afectan el crecimiento del  $\text{CaCO}_3$  microbiano. Las actividades microbianas se pueden mejorar agregando estímulos químicos que inducen la mineralización microbiana (Figura 2). Las microcápsulas se rompen bajo una fuerza que representa el agrietamiento del hormigón y las bacterias incrustadas autocuran las grietas con minerales versátiles de producción propia.

**7. *Las bacterias pueden sobrevivir en el cemento generando esporas.*** El pH del hormigón es altamente alcalino, No contiene nutrientes y el oxígeno solo está disponible en cantidades limitadas a través de los poros abiertos y en la superficie. Estos factores restringirán el crecimiento bacteriano en el núcleo del material. El uso de bacterias formadoras de esporas puede superar este desafío y generar material inteligente "autocurativo". Las bacterias formadoras de esporas tienen elementos distintos en su ciclo de vida que incluyen tres fases diferentes: crecimiento vegetativo, esporulación y germinación (Figura 3).

El crecimiento vegetativo se produce cuando las condiciones ambientales son favorables y hay

## Un marco de educación en microbiología centrado

nutrientes disponibles. Las condiciones estresantes, en particular la falta de nutrientes, inducen a las bacterias formadoras de esporas a iniciar el proceso de esporulación. Las esporas pueden permanecer latentes durante períodos prolongados (los investigadores han sostenido que hasta millones de años) y poseen una notable resistencia al daño causado por condiciones ambientales extremas, como el calor, la radiación, los productos químicos tóxicos y los valores extremos de pH. En condiciones ambientales favorables, la espora inicia un proceso llamado germinación y crecimiento de esporas, creando una célula normal que comenzará a crecer y reproducirse.



**Figura 3:** La formación y reactivación de células de semillas latentes (esporas). El gráfico fue realizado con el software BioRender.

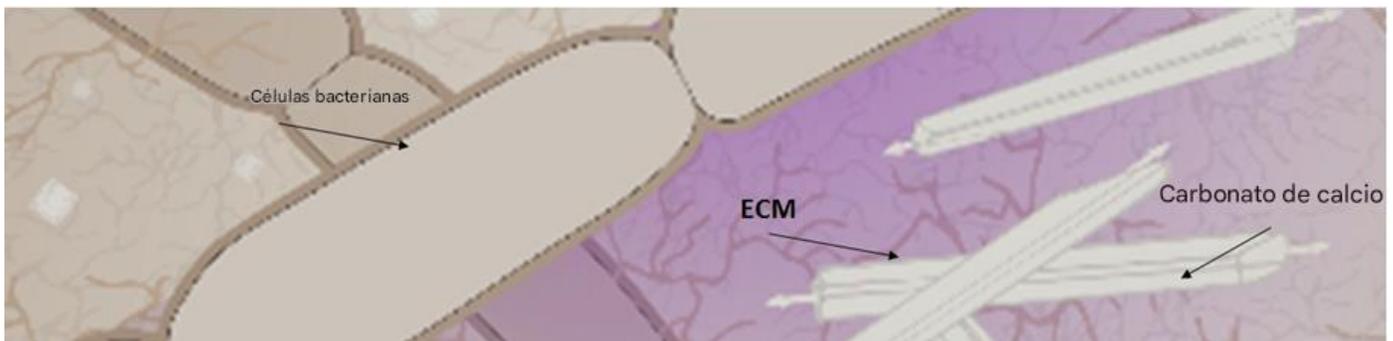
**8. Enriquecimiento del hormigón con bacterias.** En general, existen dos enfoques que pueden inducir la mineralización microbiana: bioestimulación y bioaumentación. En el caso de la bioestimulación, los microbios autóctonos naturales (por ejemplo, el microbioma de la piedra o el cemento) se estimulan o inducen para el crecimiento mediante la adición de nutrientes específicos y fuentes de carbono. En el caso de la bioaumentación, el sistema se complementa con bacterias exógenas. El potencial de los cultivos extranjeros para sobrevivir y trabajar de manera efectiva en un nuevo entorno es un desafío debido a la competencia de las comunidades nativas que residen en el hábitat. Sin embargo, el uso de bacterias formadoras de esporas puede superar las duras condiciones. Los desafíos de introducir bacterias beneficiosas en el hormigón son, de hecho, muy similares a los desafíos de introducir bacterias beneficiosas (probióticos) en nuestros microbiomas.

**9. Diseño de nuevos materiales cementantes.** En los últimos años, las tecnologías creadas por el hombre van más allá de la mera mejora de materiales similares al hormigón. Además de mejorar las propiedades del hormigón tradicional, las células microbianas pueden ayudar a crear materiales totalmente nuevos: una nueva generación de minerales microbianos diseñados de forma inteligente.

## Un marco de educación en microbiología centrado

En resumen, los minerales microbianos se pueden controlar manipulando el entorno o la genética de las bacterias que afectan: (a) la composición, dinámica y metabolismo de la comunidad microbiana, (b) la eficacia de la precipitación del carbonato de calcio, (c) la forma de los cristales y las propiedades funcionales relacionadas del producto final de la biomineralización. Con frecuencia, la sofisticación necesaria para controlar las actividades microbianas depende de una elección de estilo de vida de residir en biopelículas o, cuando se asocia con un huésped, microbiomas (comunidades multicelulares compuestas de diferentes tipos de células de la misma especie o de múltiples especies). Las especies individuales de bacterias no suelen vivir solas, sino en comunidades microbianas complejas rodeadas de materiales conocidos como matriz extracelular (ECM), que las ayuda a adherirse a superficies de materiales inertes (por ejemplo, rocas, vidrio, plástico) u orgánicos (p. ej., piel, cutícula, mucosa). Los ECM están compuestos de diferentes sustancias orgánicas, como proteínas extracelulares, exopolisacáridos y ácidos nucleicos.

En el contexto de las ECM, el crecimiento de los cristales de carbonato de calcio se produce en capas. La interacción del crecimiento de los cristales con el entorno puede afectar a la forma y la morfología de estos, y esto a su vez puede verse afectado por el entorno biogénico (orgánico) y por sustancias poliméricas orgánicas. En el caso de muchas bacterias productoras de biopelículas, se conoce bien la identidad de las sustancias exopoliméricas y los genes que las codifican. Se sabe, por ejemplo, que la ECM absorbe  $\text{Ca}_2^+$  y promueve la formación de carbonato de calcio al proporcionar sitios de nucleación para nuevos cristales.



**Figura 4:** El crecimiento de carbonato de calcio en microorganismos producidos por microorganismos. Plantilla ECM

Por ejemplo, en *Bacillus subtilis*, un conocido promotor de la biomineralización, se encontró que las diferentes morfologías cristalinas del producto final dependían de fibras secretadas, adhesinas proteicas secretadas y exopolisacáridos secretados en la matriz extracelular (ECM) (Figura 4).

Como se ha establecido la capacidad de los polímeros autoproducidos para dar forma a los minerales, la investigación ahora se dirige a identificar la influencia de la composición de especies de las comunidades microbianas en el crecimiento de los cristales. En principio, la comprensión de estos mecanismos naturales de crecimiento y control de los cristales podría conducir a nuevas técnicas para la producción de material mineral, utilizando comunidades microbianas diseñadas. Por ejemplo, todos los diferentes miembros del microbioma del suelo tienen anhidrasas carbónicas y ureasas putativas en sus genomas, enzimas que se ha demostrado que participan en la formación de carbonato para la mineralización, pero varían en sus genes ECM. La presencia de fuentes de calcio, carbono y nitrógeno en el medio ambiente también puede afectar la eficiencia de la biomineralización. Además, utilizando la biología sintética (un proceso en el que se altera la genética de las bacterias para crear nuevas funciones), los microbios pueden detectar cambios en su entorno (como la carga mecánica) y fabricar materiales cuando sea necesario (Figura

2).

**10. Correlacionar las actividades microbianas del biocemento con los niveles atmosféricos de CO<sub>2</sub>.** En las comunidades microbianas coexisten diferentes subpoblaciones de células especializadas que muestran una organización espacial y temporal dentro de las biopelículas. El seguimiento del comportamiento de las bacterias sobre el hormigón en una atmósfera controlada y la comprobación directa del impacto del CO<sub>2</sub> atmosférico en la biomineralización, junto con el seguimiento de la estructura y la función de la comunidad asociada al cemento, pueden permitirnos diseñar nuevas y útiles comunidades microbianas para la construcción que absorban dióxido de carbono.

### **Pertinencia para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y los Grandes Desafíos**

- **Objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles** A medida que aumenta la población mundial, hay un aumento de necesidad de espacio habitable. El aumento del número de casas puede provocar la destrucción de bosques y otros biocementos ecológicos que se construyen con biocemento con bacterias incorporadas pueden reducir el daño a los ecosistemas del suelo al introducir microbiota beneficiosa del suelo y de las piedras en los cimientos de los edificios, reducir los daños causados por la descomposición de los edificios y minimizar la producción de gases de efecto invernadero.
- **Objetivo 12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.** La producción de hormigón genera emisiones de dióxido de carbono y, por lo tanto, la construcción moderna está en conflicto con el consumo y la producción sostenibles. El uso de biocemento puede modernizar la industria de la construcción al hacer que nuestros materiales sean más resistentes y duraderos o al crear materiales neutros en carbono o con huella de carbono negativa.
- **Objetivo 13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.** La aplicación de bacterias al desarrollo de materiales de construcción ecológicos y biocementos dará como resultado el secuestro de dióxido de carbono en forma de mineral funcional. Por lo tanto, la incorporación de biopelículas bacterianas que forman carbonato de calcio en nuestros materiales de construcción puede proporcionar una solución sostenible para el problema crítico del calentamiento global.

### **Posibles implicaciones para las decisiones**

#### ***Políticas nacionales relativas a Bioconstrucción:***

- a. Contaminación ambiental
- b. Producción de gases de efecto invernadero y calentamiento global. Se debería apoyar económicamente a los constructores para que construyan con biomateriales ecológicos.
- c. Parámetros no microbianos: políticas relacionadas con la construcción: reducción de costes de construcción para viviendas sostenibles

### **Participación de los alumnos**

1. *Clase discusión del asunto asociado con construcción, concreto y bacterias*
2. *Concienciación de los alumnos sobre las partes interesadas*

## Un marco de educación en microbiología centrado

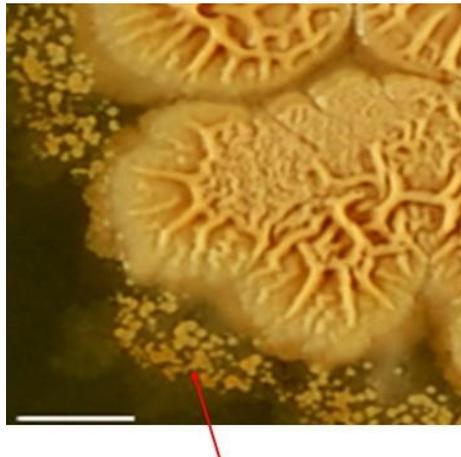
- a. El uso de cultivos microbianos en la construcción tiene consecuencias positivas para los ODS. ¿Cuáles de estas son las más importantes para usted personalmente o como grupo?
- b. ¿Puede usted pensar en algo que se pueda hacer para reducir las consecuencias negativas de la construcción moderna sobre el clima y el suelo de la Tierra?
- c. ¿Puedes pensar en algo que podrías hacer personalmente para reducir la huella ambiental de la construcción de edificios?

### 3. *Ceremonias (podría ser hecho en cualquier nivel, pero estos son probablemente educación nivel secundaria).*

- a. La construcción con hormigón es un signo de las ciudades modernas. ¿Qué opciones sostenibles existen para la construcción?
- b. ¿Qué hormigón ideal diseñarías para la construcción?
- c. Mirando los ODS, ¿cómo podemos cambiar nuestro enfoque en las estrategias de construcción para generar ciudades amigables con el medio ambiente?

### 4. **Experimentos de clase (seleccione el experimento apropiado) de la lista de Experimentos de clase)**

- a. Inducir la formación de “cálculos microbianos” por ejemplo: minerales de calcio.
  - Prepare placas de biomineralización a partir de materiales comerciales simples: (Agar 1,5 %, glucosa 0,5 %, extracto de levadura 0,4 %). Esterilice los materiales en autoclave. Vierta la solución esterilizada en placas de Petri. Seque a temperatura ambiente durante la noche.
  - Inocular *Bacillus subtilis* no peligroso en un medio de crecimiento rico en tubos Eppendorf de 15 ml. ([http://2014.igem.org/wiki/images/6/63/WPI\\_LB\\_Liquid\\_and\\_Agar.pdf](http://2014.igem.org/wiki/images/6/63/WPI_LB_Liquid_and_Agar.pdf)) durante la noche hasta que el medio esté turbio.
  - Coloque una gota de cultivo bacteriano en las placas utilizando una pipeta Pasteur.
  - Incubar las placas durante 10 días en incubadora a 37°C.
  - Observe cómo emergen las “piedras” microbianas (Figura 5).
  - Si las normas de seguridad son compatibles, las “piedras” se pueden lavar con lejía comercial inoculando el cultivo microbiano en lejía durante 10 minutos, retirando la lejía con una pipeta y lavando el material restante con acetona, para demostrar que son tan resistentes como las piedras “normales”.



**Cifra 5:** El crecimiento de calcio Piedras carbonatadas (flecha roja) inducidas por colonias microbianas en medio de biomineralización. La barra de escala corresponde a 1 mm.

## Un marco de educación en microbiología centrado

b. Aislamiento de microorganismos de la arena, la piedra y el hormigón. ¿Cuál es el microbioma de estos materiales de construcción?

- Preparar placas de laboratorio de LB ([http://2014.igem.org/wiki/images/6/63/WPI\\_LB\\_Liquid\\_and\\_Agar.pdf](http://2014.igem.org/wiki/images/6/63/WPI_LB_Liquid_and_Agar.pdf))
- Utilice un palillo esterilizado. Toque suavemente la superficie que tenga en mente: hormigón, piedra o arena.
- Extiende el contenido (invisible) del palillo sobre el plato.
- Incubar las placas durante 2-5 días en incubadora a 37°C.
- Examinar las placas

c. ¿Pueden sobrevivir los microbios inoculados en el suelo? Las bacterias se cultivarán en el laboratorio, se añadirán a piedra o arena esterilizadas y se extraerán para su cultivo en placa.

- Cultivar bacterias no peligrosas como en A. Mezclarlas con arena/tierra previamente esterilizada.
- Incubar durante 24 horas.
- Utilice el método del palillo (b) para comprobar si las bacterias aún son viables.

### La base de evidencia, lecturas complementarias y materiales didácticos

<https://www.thespruce.com/difference-between-cement-concrete-and-mortar-2130884>

Dhami, NK, Reddy, MS y Mukherjee, A. (2013). Biomineralización de carbonatos de calcio y sus aplicaciones de ingeniería: una revisión. *Front Microbiol* 4, 314.

Heim, C. (2011). Mineralización microbiana. Enciclopedia de biomineralización. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9212-1\\_33](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9212-1_33)

Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., y Sokona, Y. (2014). Cambio climático 2014. Grupo de trabajo sobre mitigación del cambio climático III. Contribución al quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Cambio climático 2014: mitigación del cambio climático, Ix-Xi.

Worland, J. (2016). Por qué su oficina es la causa y la solución del cambio climático <https://time.com/4311258/cambio-climatico-energia-eficiente-edificios/> Revista Time.

### Glosario

**Cemento:** Material aglutinante utilizado en la construcción de edificación y obras públicas. Los cementos de este tipo son polvos finamente molidos que, al mezclarse con agua, forman una masa dura. Cuando son formados por organismos vivos, se denominan biocementos.

**Concreto:** Componente estructural de los edificios en la construcción civil: Un material compuesto formado por agregados finos y gruesos unidos entre sí con un cemento fluido (pasta de cemento) que se endurece con el tiempo.

**Gases de efecto invernadero:** Gas que absorbe y emite radiación infrarroja en el rango de longitudes de onda que emite la Tierra. El dióxido de carbono (0,04%), el óxido nitroso, el metano y el ozono son gases que representan casi una décima parte del 1% de la atmósfera terrestre y tienen un efecto invernadero apreciable (el proceso por el cual la radiación de la atmósfera de un planeta calienta la superficie de este).

**Biopelículas:** Comunidades microbianas formadas por diferentes especies, o una sola especie, que se mantienen unidas mediante polímeros autoproducidos.

## Un marco de educación en microbiología centrado

**Microbiomas:** Una comunidad de microorganismos (como bacterias, hongos y virus) que habitan en un entorno particular (en este caso, piedra). Suele referirse al conjunto de microorganismos que viven en el interior o sobre el cuerpo humano.

**Espora:** Unidad de reproducción sexual o asexual que puede estar adaptada para la dispersión y la supervivencia, a menudo durante largos períodos de tiempo, en condiciones desfavorables. Las esporas bacterianas no forman parte de un ciclo sexual, sino que son estructuras resistentes que se utilizan para sobrevivir en condiciones desfavorables.

**pH:** Medida de acidez o alcalinidad. Se considera que la alcalinidad promueve la biomineralización.

**Matriz extracelular (MEC):** Red tridimensional de macromoléculas extracelulares, como polisacáridos y proteínas, que proporcionan soporte estructural y bioquímico a las células circundantes. Polímeros autoproducidos que son secretados por bacterias unicelulares para generar comunidades multicelulares funcionales.

**Sustancia exopolimérica:** moléculas liberadas por microorganismos en respuesta al estrés fisiológico que encuentran en el ambiente natural. Las sustancias exopoliméricas son componentes estructurales de la matriz extracelular en la que se incrustan las células durante el desarrollo del biofilm.

**Carbonato de calcio:** El carbonato de calcio es un compuesto químico con la fórmula  $\text{CaCO}_3$ . Cuando forma cristales, se denominan calcita, varterita o arnoíta. Es una sustancia común que se encuentra en las rocas (sobre todo en la caliza, que es un tipo de roca sedimentaria que consiste principalmente en calcita). El carbonato de calcio es el componente principal de las perlas y las conchas de los organismos marinos (corales y estrellas de mar), los caracoles y los huevos.

**Cristal/Cristalino:** Un material sólido cuyos componentes (como átomos, moléculas o iones) están dispuestos en una estructura microscópica altamente ordenada. Cuando una sustancia química genera un cristal, se le denomina cristalino.

**Gene:** Segmento de ADN que codifica la producción de una proteína determinada. El ADN es un conjunto de información química que contiene las instrucciones para fabricar todas las proteínas que una célula necesitará en su vida.