

Hielo glaciar: un museo de microbios antiguos

*Abuelo: Hoy hemos oído que hay microbios en los glaciares. en
¡Deben ser incluso más viejos que tú!*



Perforación de núcleos de hielo. Crédito de la fotografía: Lonnie G. Thompson/The Ohio State University

Zhi-Ping Zhong^{1,2,3}, Virginia I. Rich^{1,2,3}, Ellen Mosley-Thompson^{1,4} & Lonnie G. Thompson^{1,5}

¹ Centro de Investigación Polar y Climática Byrd, ² Departamento de Microbiología, ³ Centro de Ciencias del Microbioma, ⁴ Departameto de Geografía & ⁵ Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Estatal de Ohio, Columbus, EE.UU.

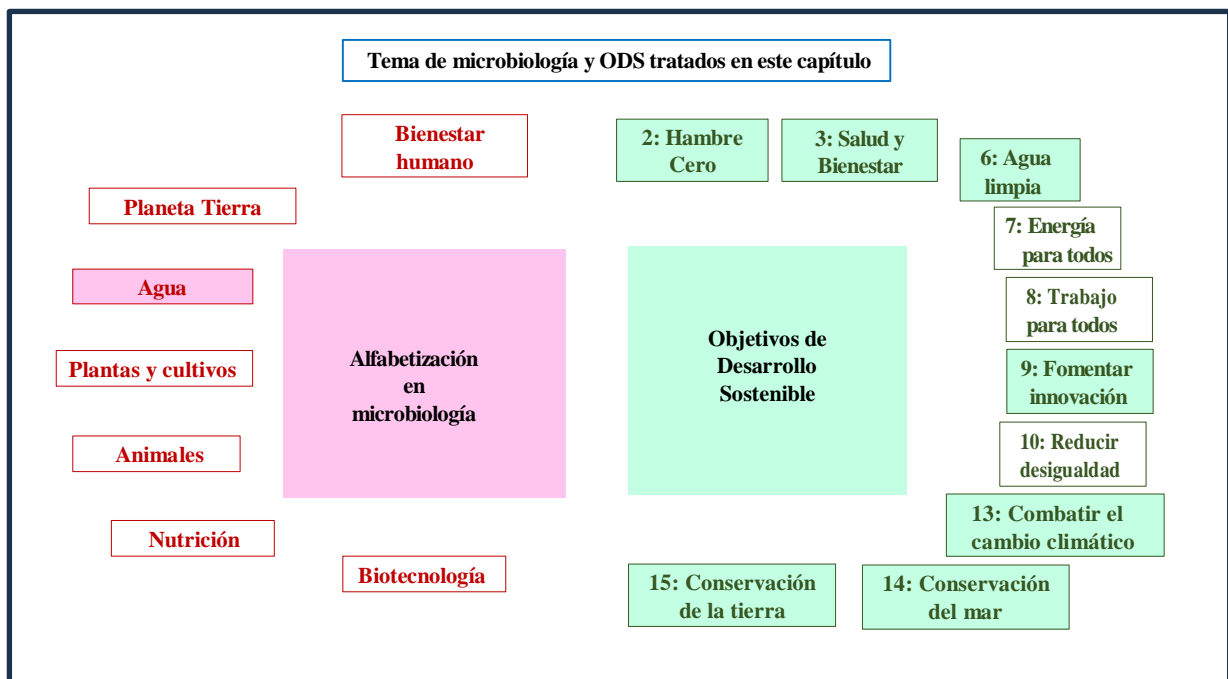
Glaciares

Sinopsis

Los glaciares se encuentran en las montañas de gran altitud y en las dos regiones polares. Cubren el 11% de la superficie terrestre. Los glaciares son el hogar de la mayor parte de la tierra y almacenan el 70% del agua dulce del mundo. Los glaciares crecen a partir de la nieve que cae sobre ellos año tras año, pero que no se derrite durante el verano. Los glaciares sirven como museos de climas y microbios antiguos, y permiten a los científicos explorar climas pasados y la evolución de los microbios a lo largo de miles de años. Los microbios antiguos podrían servir como fuentes de innovación biotecnológica (por ejemplo, la industria alimentaria) y ayudarnos a buscar e interpretar signos de vida en otros mundos helados más allá de la Tierra. Sin embargo, los glaciares ahora se están derritiendo rápidamente y liberando el agua preservada y los microbios antiguos, y exponiendo el suelo debajo. El agua puede causar inundaciones, erosión y aumento del nivel del mar, y reducir la confiabilidad del agua para beber, irrigación y energía hidroeléctrica para miles de millones de personas. Los microbios y virus liberados podrían incluir patógenos antiguos y potencialmente genes que no existen en la actualidad. El suelo recién expuesto puede ser arrastrado a las vías fluviales y perturbar los ecosistemas río abajo y acelerar el calentamiento climático. En conjunto, el derretimiento de los glaciares se relaciona con muchos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible Global de la ONU. Por ello, es urgente estudiar los glaciares para descubrir la riqueza de información que contienen sobre nuestro pasado.

Paralelamente, es necesario implementar acciones para frenar el cambio climático y, de ese modo, ayudar a reducir el derretimiento de los glaciares y, de ese modo, contribuir a la preservación de estos museos microbianos.

La microbiología y el contexto social



Un marco educativo de microbiología centrado en los niños

Microbiología: microbios antiguos, historia climática antigua, evolución de la vida, aplicaciones, patógenos y salud, búsqueda de vida extraterrestre, perturbaciones de los ecosistemas modernos, reservas de agua dulce, producción de gases de efecto invernadero. Las cuestiones de sostenibilidad incluyen: producción de alimentos, salud, agua potable, uso industrial, calentamiento climático y perturbación de la vida en el agua y en la tierra.

Glaciares: la Microbiología

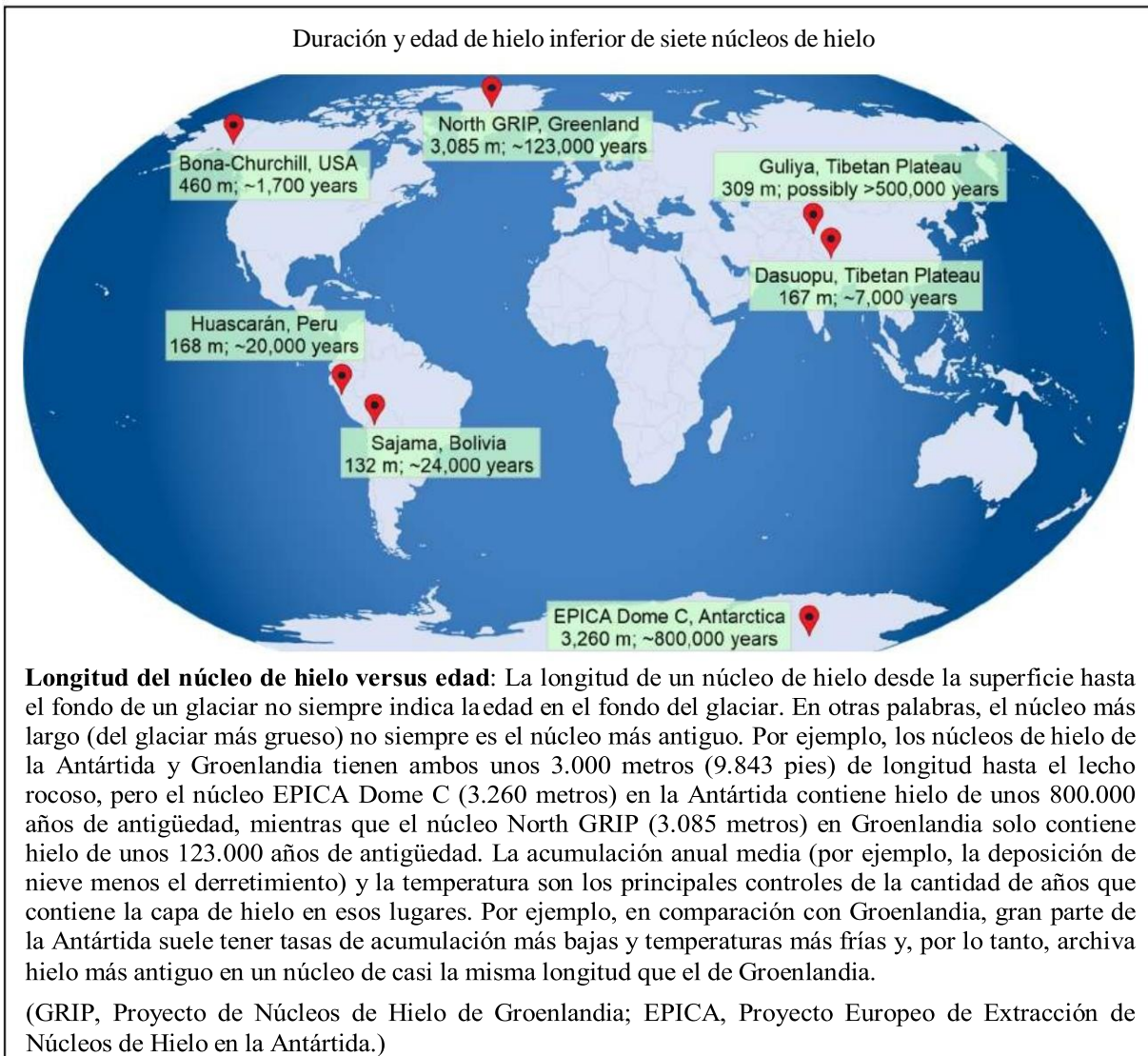


1. Los glaciares son grandes museos del pasado, que incluyen climas y microbios antiguos. Hoy en día, los glaciares y las capas de hielo cubren aproximadamente el 11% de la tierra de nuestro planeta. Hace muchos años, durante los climas más cálidos, la tierra donde ahora se encuentran los glaciares estaba cubierta de pastos, bosques, desiertos o llanuras. A medida que las condiciones se volvieron más frías, se formaron glaciares gradualmente en lugares donde la nieve no se derretía por completo cada verano, de modo que año tras año la nieve siguió haciéndose más espesa. Finalmente, a medida que la nieve se derretía, los glaciares se fueron formando gradualmente en lugares donde la nieve no se derretía por completo cada verano. El hielo se volvió tan espeso que se comprimió y comenzó a moverse y formó un glaciar que creció a medida que caía más nieve en la parte superior. Junto con la nieve, el polen, el polvo y los microbios también cayeron sobre los glaciares, y el aire quedó atrapado dentro de burbujas que se conservan en el hielo. A veces, las cosas más grandes también se conservan hojas o insectos en los glaciares,

Un marco educativo de microbiología centrado en los niños

¡pero esto es algo poco común!

Por ello, los glaciares son grandes museos de climas y organismos antiguos, incluidos los microbios. Imaginemos un núcleo de hielo perforado desde la superficie hasta el fondo de un glaciar: contendría información sobre climas, plantas y microbios a lo largo de toda la vida del glaciar, que podría durar cientos de miles de años. Por lo tanto, los glaciares son ventanas al pasado, incluidos los climas antiguos, las erupciones volcánicas, la composición de nuestra atmósfera atrapada en burbujas y los microbios.

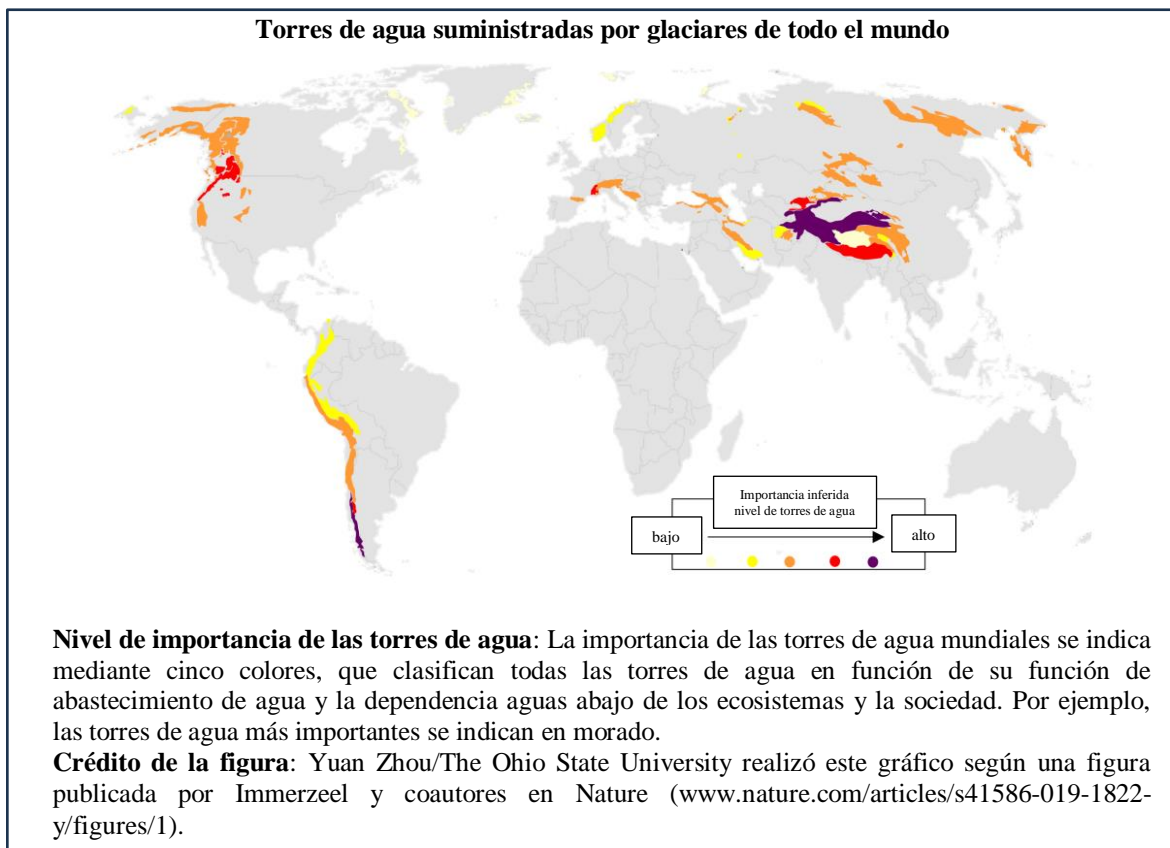


2. Los microbios de los glaciares pueden contarnos sobre la evolución a lo largo de muchos miles de años. Nuestros antepasados humanos, los primeros de nuestra especie, el *Homo sapiens*, aparecieron en la Tierra hace unos 300.000 años, mientras que los microbios existen desde hace al menos 3.700 millones de años (¡3.700.000.000 de años!). ¡Son las primeras formas de vida de nuestro planeta! Los científicos creen que los humanos, los animales, las plantas y todas las demás formas de vida evolucionaron a partir de microbios. Al igual que los humanos, los microbios actuales también tienen antepasados. Los glaciares son museos de esos microbios "ancestros" que pueden ayudarnos a comprender el misterio de cómo los microbios y otras

Un marco educativo de microbiología centrado en los niños

formas de vida han evolucionado a lo largo de los últimos cientos de miles de años.

3. El deshielo de los glaciares afecta al acceso humano al agua dulce. Dado que los glaciares y las capas de hielo contienen alrededor del 70% del agua dulce de la Tierra, son importantes reservas de agua dulce, como las torres de almacenamiento de agua del planeta. Por ejemplo, más de 1.500 millones de personas, es decir, casi el 20% de la población mundial, dependen en parte del agua de deshielo de los aproximadamente 4.600 glaciares situados en la meseta tibetana, que la gente llama «el tercer polo» de la Tierra (que se une a los polos norte y sur como zona de importancia planetaria; véase la sección «Glosario»). Esta zona montañosa helada y fría es muy importante para 12 países asiáticos: Afganistán, Bangladesh, Bután, China, India, Kazajstán, Kirguistán, Myanmar, Nepal, Pakistán, Tayikistán y Uzbekistán. Los habitantes de esta región, y de otras cercanas a los glaciares desde los Alpes europeos hasta los Andes sudamericanos, utilizan regularmente el agua de deshielo estacional de los glaciares para beber y regar.



Algunos países también utilizan el agua de deshielo de los glaciares para producir electricidad mediante centrales hidroeléctricas. Sin embargo, el calentamiento global está cambiando rápidamente estos glaciares. La tasa media mundial de adelgazamiento de los glaciares (excluidas las capas de hielo de Groenlandia y la Antártida) se ha duplicado en menos de 20 años. En 2000, la tasa media de adelgazamiento era de 36 cm/año (~14 pulgadas/año), pero en 2019 era de 69 cm/año (~27 pulgadas/año). Esto significa que, en algunos casos, el agua de

Un marco educativo de microbiología centrado en los niños

deshielo para los seres humanos que viven cerca está aumentando, y eso también puede causar graves inundaciones. Sin embargo, a medida que los glaciares se reduzcan o desaparezcan, la cantidad de agua de deshielo disminuirá y será menos predecible, por lo que muchas personas sufrirán escasez de agua en el futuro.

4. El deshielo de los glaciares puede perturbar los ecosistemas. A partir de estudios de glaciares de todo el mundo, los científicos estiman que los glaciares de la Tierra contienen aproximadamente entre 1023 y 1027 células microbianas, es decir entre cien y un millón de veces más estrellas conocidas que en el universo. Desgraciadamente derretimiento de los glaciares, los microbios ancestrales se liberan a los ambientes locales, incluyendo suelos, ríos, ríos, lagos y océanos. Dado que los microorganismos pueden compartir genes, los genes liberados de antiguos microbios y virus antiguos pueden mezclarse con genes modernos para producir microbios que pueden representar tipos tipos nunca vistos. Los microbios liberados y los nuevos microbios que creen podrían perturbar los los ecosistemas en los que se introduzcan, por ejemplo, compitiendo por el alimento con los microbios autóctonos.

El agua de deshielo de los glaciares acaba llegando a los océanos y ha contribuido a cerca del 21% de la subida del nivel del mar observada durante el periodo 2000-2019. la subida del nivel del mar observada durante 2000-2019. Unos 200 millones de personas viven en tierras que, según las previsiones, estarán por debajo de la línea de pleamar a finales del siglo XXI. de la marea alta a finales del siglo XXI, y algunas comunidades costeras ya se están algunas comunidades costeras ya se están trasladando a terrenos más elevados.

El agua dulce liberada por los glaciares diluirá la salinidad del agua de los océanos, lo que puede alterar sus patrones de circulación y modificar aún más la Tierra. alterar sus patrones de circulación de forma que se modifique aún más el clima de la Tierra. ecosistemas oceánicos. Además, los microbios antiguos liberados (o los nuevos que creen) podrían ser patógenos que afecten a plantas, animales o seres humanos. Es posible, aunque no probable, que ciertos microorganismos procedentes del deshielo de los glaciares hagan que las fuentes de agua dulce sean menos seguras para beber, perjudiquen a la fauna o al ganado, o incluso afecten directamente a los seres humanos.

5. El deshielo de los glaciares también puede repercutir en el calentamiento global. A medida que los glaciares se derriten, el suelo bajo ellos queda recién expuesto a los elementos y la erosión.

¿Sabías que el carbono en los glaciares de la Tierra y su ambiente basal es mayor que el de todos los lagos y ríos contaminados?

Dado que los glaciares cubren el 11% de la superficie terrestre, hay mucho suelo y carbono por descubrir. por primera vez en siglos. Los microbios en ese suelo viejo, y en los sistemas circundantes donde entran, pueden comerse este carbono y convertirlo en gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄), que calientan nuestro planeta y potencian aún más el cambio climático. En también pueden convertir las fuentes de nitrógeno en óxido nitroso (N₂O), otro potente gas de efecto invernadero.

Un marco educativo de microbiología centrado en los niños

6. Los microorganismos de los glaciares como potencial de fuentes industriales. Los microbios antiguos podrían ser fuentes de genes novedosos y útiles para nuestras fábricas e industrias. Es probable que los microbios conservados en los glaciares hayan vivido en condiciones diversas (por ejemplo, con pocos nutrientes, mucha radiación, mucha desecación, mucha altitud, temperaturas frías, etc.), por lo que sus enzimas también podrían funcionar en condiciones diferentes.

Además, algunos de estos microbios también vivieron y se reprodujeron en las capas de nieve de la cima de los glaciares, ya que estaban adaptados a las bajas temperaturas y a las duras condiciones.

Algunos de estos microbios y sus genes pueden ayudarnos hoy a resolver problemas humanos en entornos fríos, como el tratamiento más eficaz de las aguas residuales y la limpieza de suelos contaminados en regiones frías. Algunos de los microbios adaptados al frío producen proteínas fijadoras de hielo (ver la sección “Glosario”) que pueden influir en el crecimiento de los cristales de hielo. También se han utilizado en la industria alimentaria para muchas cosas, como la producción de helado la producción de helados y el almacenamiento en frío de yogur y carne.

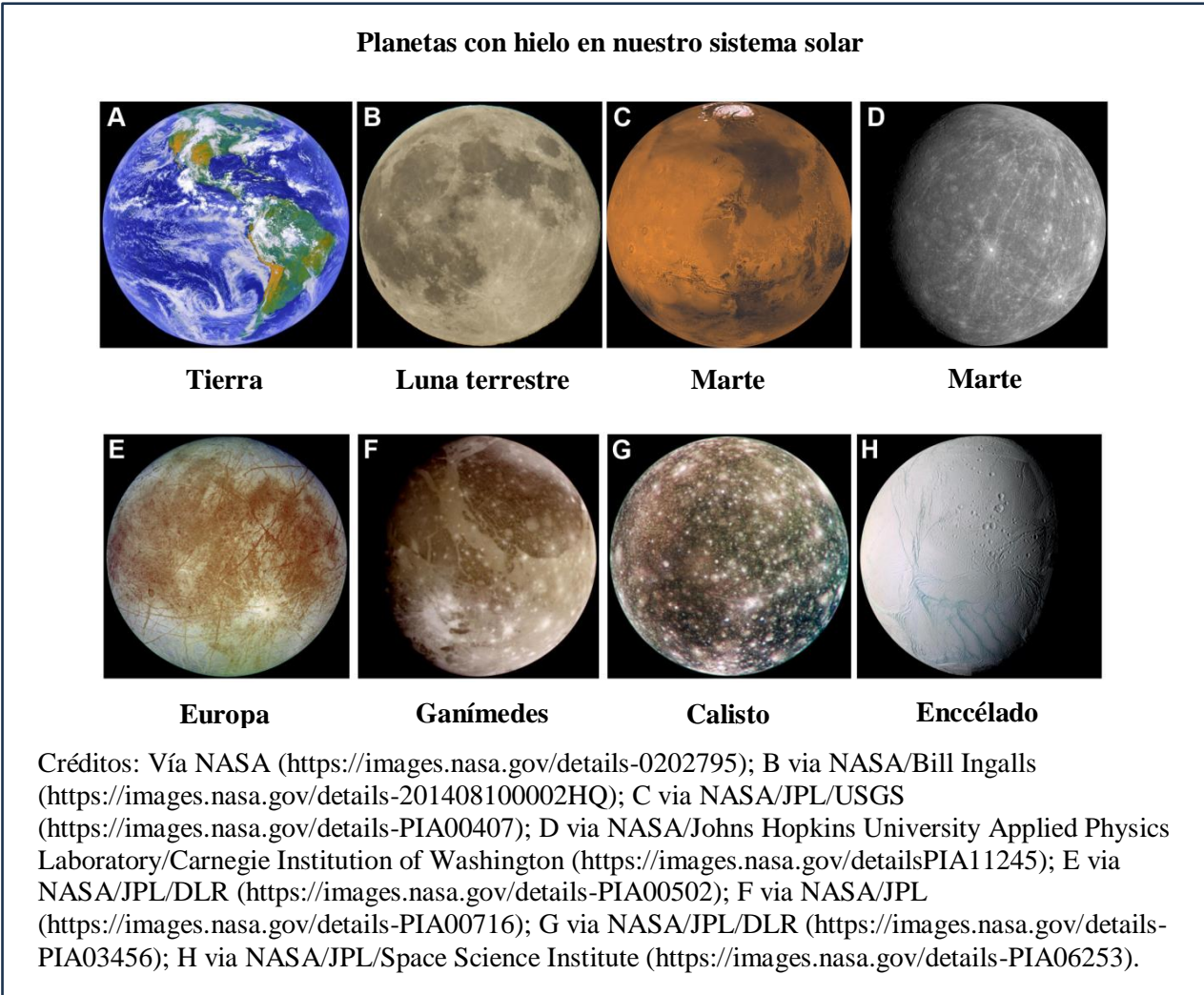
¿Sabía que la próxima vez que disfrute de un cucurucho de helado, puede que tenga que agradecerse a un microbio adaptado al frío? ¿y si los microbios de los glaciares tuvieran nuevos tipos de proteínas fijadoras del hielo que permitieran a la próxima generación de científicos de la alimentación -quizá a ti - mezclar nuevos sabores y hacer nuevos helados que antes no se podían congelar?

Las *proteínas que fijan el hielo* también pueden utilizarse para producir nieve artificial. Si ve los Juegos de invierno, sabrá que la nieve artificial es cada vez más importante debido al calentamiento del clima. Los nuevos microbios podrían permitirnos prolongar nuestra participación en nuestros deportes de invierno favoritos. Además, las proteínas fijadoras de hielo pueden utilizarse en medicina para preservar órganos para trasplantes. También pueden ayudar en la criocirugía, un tipo especial de cirugía que se realiza en condiciones de frío y que requiere nuevos métodos naturales de almacenamiento de tejidos y órganos a bajas temperaturas. condiciones de frío y que requiere nuevos métodos naturales para el almacenamiento de tejidos y órganos a bajas temperaturas.

7. Los microorganismos glaciares pueden ayudarnos con la búsqueda de vida fuera del planeta. Hay científicos que buscan vida en otros planetas: ¡se llaman astrobiólogos! En su búsqueda, dan prioridad a encontrar agua líquida, ya que es un requisito esencial para la vida en la Tierra. El agua permite que las sustancias químicas disolverse y moverse, por lo que los astrobiólogos creen que también es probable que sea un requisito para la vida en cualquier lugar de nuestro universo.

Han encontrado otros lugares con hielo en nuestro sistema solar, como Marte, la luna Europa de Júpiter y Saturno. Júpiter, Europa y la luna Encelado de Saturno. Así que el desarrollo de métodos para explorar y comprender los microbios de los glaciares de la Tierra probablemente ofrezca herramientas para la búsqueda de vida extraterrestre.

Un marco educativo de microbiología centrado en los niños



Una de las misiones importantes del explorador de Marte de la NASA, Perseverance, que fue lanzada en 2020, es buscar pruebas de vida microbiana antigua. Si la vida tal y como la conocemos es una de las preguntas más profundas de la humanidad. *¿Qué opina al respecto?*

Relevancia para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y sus Grandes Desafíos

- **Objetivo 2. Hambruna.** El agua de deshielo estacional de los glaciares alimenta muchos ríos importantes de todo el mundo y se utiliza para el riego de cultivos y agua para el ganado. Una liberación menos predecible del agua de deshielo y la posible reducción o pérdida total del agua de deshielo, tendrá un gran impacto en las regiones que utilizan este recurso natural para la producción de alimentos. que utilizan este recurso natural para la producción de alimentos. A medida que los glaciares se derritan, se esperan mayores inundaciones lo que puede causar importantes pérdidas de cosechas y ganado. Además, los lagos y arroyos que son alimentados por los glaciares y que proporcionan hábitats para peces de agua dulce que sirven como fuente de proteínas para millones de millones de personas, pueden disminuir o desaparecer. La descarga de agua dulce (es decir, no salada) de deshielo de los grandes capas de hielo, Groenlandia y la Antártida, ya parece estar cambiando los patrones de las corrientes oceánicas con

Un marco educativo de microbiología centrado en los niños

el potencial de afectar a las pesquerías marinas, que proporcionan aproximadamente el 17% de la proteína para la humanidad. Por último, los posibles patógenos liberados por el deshielo de los glaciares podrían afectar a los cultivos, el ganado y la pesca. De esta forma, la pérdida de glaciares contribuirá a la inseguridad alimentaria.

- **Objetivo 3. Salud.** La inseguridad hídrica, es decir, el acceso poco fiable al agua potable, está asociada a una peor salud, un peor saneamiento y más enfermedades. con una peor salud, peores condiciones sanitarias y más enfermedades. Para miles de millones de personas que glaciares, la pérdida de glaciares probablemente reducirá su salud debido a la inseguridad del agua. Durante el derretimiento de los glaciares, las inundaciones y el agua estancada pueden crear de mosquitos y agentes patógenos. Como ya se ha mencionado, los glaciares pueden contener antiguos patógenos que pueden liberarse al derretirse. De este modo, la pérdida de glaciares amenaza la salud mundial. mundial.

- **Objetivo 6. Agua Potable.** El hielo glaciar contiene aproximadamente 70% del agua fresca de nuestro planeta, la cual provee el agua potable para billones de personas. Las reservas de agua dulce actualmente encerradas en los glaciares están empezando a disminuir debido al calentamiento del clima de la Tierra. Véase el Objetivo 3 relativo a la inseguridad hídrica.

- **Objetivo 9. Industria e innovación.** Los microbios antiguos podrían ser fuentes de genes nuevos y útiles para nuestras fábricas e industrias. Por ejemplo, los microbios adaptados al frío y sus enzimas han se han utilizado para el tratamiento de aguas residuales, la producción de helados y el almacenamiento en frío de alimentos y medicinas. alimentos y medicinas. Ver el apartado 6.

- **Objetivo 13. Acción por el clima.** El deshielo de los glaciares dejará al descubierto el subsuelo y, por tanto, liberará el carbono allí almacenado. Este carbono liberado podría ser utilizado por los microbios para producir gases de efecto invernadero que «calientan el clima». Además, los microbios liberados de los glaciares podrían contribuir a la producción de gases de efecto invernadero, acelerando así el calentamiento climático. El rápido cambio climático actual está acelerando el deshielo de los glaciares. Tenemos que aplicar medidas para frenar para frenar el cambio climático y reducir el deshielo de los glaciares, contribuyendo así a la conservación de estos museos microbianos y de carbono. museos de carbono y microbios.

- **Objetivo 14. La vida bajo el agua.** El deshielo de los glaciares y la erosión asociada a él afectarán a los ecosistemas marinos y de agua dulce. afectará a los ecosistemas marinos y de agua dulce. El aumento de la nubosidad del agua disminuye el crecimiento de las plantas (por ejemplo, el fitoplancton), y el agua dulce liberada a los océanos puede alterar la circulación de sus corrientes. Es preocupante que el aumento del nivel del mar provoque la inmersión de algunos vertederos costeros y la movilización de sus contaminantes hacia los sistemas marinos, con las consecuencias ecológicas perjudiciales.

- **Objetivo 15. La vida en la tierra.** El agua de deshielo de los glaciares sirve de sustento a animales y plantas, pero también puede provocar inundaciones. A medida que los glaciares se derriten rápidamente y descargan más agua de deshielo, es probable que las formas de vida en tierra se vean afectadas negativamente. Con el calentamiento continuado, los glaciares se reducirán y el agua de deshielo disponible se reducirá aún más, estresando a las plantas y animales terrestres de los que dependen los seres humanos, especialmente en la estación seca y en épocas de sequía. Es posible que se liberen al medio ambiente microorganismos ancestrales, incluidos posibles patógenos agrícolas, animales y vegetales, con efectos perjudiciales. Por otra parte, a medida que la tierra ahora cubierta por los glaciares quede al descubierto, habrá nuevos hábitats disponibles para que la vida terrestre los colonice.

Un marco educativo de microbiología centrado en los niños

Posibles implicaciones para las decisiones

Los glaciares se están derritiendo como resultado del calentamiento global: ¿qué podemos hacer para minimizar el calentamiento global?

1. *Individual*

a. Lo que como: la carne conlleva una gran huella de carbono, por lo que comer menos o nada de carne reduce la huella de carbono.

b. Lo que como: los alimentos de origen mundial tienen una gran huella de carbono, por lo que consumir alimentos producidos localmente cuando son de temporada, y no demandar alimentos producidos fuera de temporada, reduce tu huella de carbono.

c. Cuánta comida desperdicio: la producción, el transporte y el almacenamiento de alimentos consumen energía. Y, si va a parar a un vertedero, contribuye a la producción de gases de efecto invernadero. ¿Puedo minimizar el desperdicio de alimentos? Cuando desperdicio comida, ¿puedo compostarla en lugar de depositarla en un vertedero?

d. Cuánta energía consumo: ¿cuán calientes y largas son mis duchas? Cuando hace frío, ¿me pongo un jersey o enciendo la calefacción? ¿Apago las luces cuando no las necesito? ¿Uso bombillas más eficientes?

e. Cómo me desplazo: ¿camino, voy en bicicleta, uso el transporte público o conduzco? ¿Comparto coche cuando tengo que conducir y/o agrupo los recados para minimizar los desplazamientos? ¿Viajo en avión si existe la posibilidad de viajar en tren?

f. Cómo trato la naturaleza: las plantas consumen el gas de efecto invernadero CO₂; ¿ayudo a proteger los espacios verdes? ¿Planto árboles?

g. Lo que come mi mascota - la carne conlleva una gran huella de carbono, por lo que utilizar alimentos alternativos para animales elaborados a partir de fuentes de proteínas vegetales y de insectos puede reducir la huella de carbono de tu familia.

h. Cuántas mascotas tengo/cuán grandes son - la cantidad de comida para mascotas que compramos es proporcional al número de mascotas que tenemos y a su tamaño.

i. Cómo uso mi voz: ¿hablo con mis amigos y familiares sobre cómo podemos reducir el cambio climático? ¿Hablo con los políticos para que hagan políticas que ayuden al calentamiento global?

2. *Políticas comunitarias*

a. Incentivar el uso y mejorar el acceso al transporte público.

b. Incentivar la producción -y el consumo- local de alimentos.

c. Facilitar el compostaje y el reciclaje municipales.

d. Incentivar la plantación de árboles y la protección de espacios verdes.

e. Incentivar la mejora de la eficiencia energética en los edificios existentes y exigirla en los de nueva construcción.

f. Educación pública sobre la huella de carbono en la vida cotidiana, sobre el valor de los alimentos producidos localmente y sobre el transporte público. local y del transporte público.

g. Educación pública sobre formas de ahorrar energía.

3. *Políticas nacionales*

a. Reducción de la producción de gases invernadero mediante:

i. Eliminación de energía basada en combustibles fósiles.

Un marco educativo de microbiología centrado en los niños

- ii. Incentivación de estructura para desarrollar y utilizar energía solar, eólica e hidroeléctrica, como fuentes de biohidrógeno y, en el futuro, de bioelectricidad.
 - iii. Incentivos fiscales para la modernización de la eficiencia energética de los hogares.
 - iv. Mejora de redes nacionales y regionales de transporte público.
 - v. Incentivar el uso del transporte público.
 - vi. Continuación y ampliación de los incentivos fiscales a los vehículos eléctricos y de gasolina.
 - vii. Terminar con los subsidios a las empresas productoras de carne, y proporcionar financiación e incentivos para el desarrollo y la adopción de fuentes de proteína basadas en insectos.
- b. Educación ciudadana sobre el calentamiento global, derretimiento de los glaciares, gases de efecto invernadero, etc.

Participación de los alumnos

1. *Discusión en clase:*

- a. ¿El deshielo de los glaciares afecta a varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU? En su opinión, ¿cuáles son los más importantes y por qué?
- b. Si pudieras echar un vistazo al pasado utilizando los organismos conservados en los glaciares, ¿qué es lo que más te gustaría saber sobre cómo eran las cosas en el lugar donde vives hace 10.000 años? ¿qué es lo que más te gustaría saber sobre cómo eran las cosas en el lugar donde vives hace 10.000 años? ¿Y hace 100.000 años?
- c. Los microbios de los glaciares son recursos biotecnológicos potenciales para diversas industrias como la alimentación y la medicina. ¿Se le ocurren otras aplicaciones para los microbios conservados en glaciares? conservados en los glaciares?

2. *Sensibilización de los alumnos*

- a. Los glaciares se están derritiendo rápidamente por el cambio climático ¿Qué cambios personales harías para ralentizar el cambio climático?
- b. ¿Hay glaciares en su país o región? ¿Quién utiliza el agua de estos glaciares? ¿Existen planes de «resiliencia climática» para quienes dependen de esta agua?
- c. ¿Tiene su país zonas costeras? ¿Se han visto ya afectadas estas comunidades por la subida del nivel del mar? En caso afirmativo, ¿cómo? ¿Qué planes hay para ayudar a esas comunidades en las comunidades en el futuro?

Base empírica, lecturas complementarias y material didáctico

- How were glaciers formed? <https://www.youtube.com/watch?v=JJi5ICgmTsE> Ohio State Insights. 2019. Understanding Ice cores (a cartoon): https://www.youtube.com/watch?v=df_ExaG1uGg
- PBS News. 2021. Glacier ice samples act as records of climate change's impact on Earth. <https://www.pbs.org/newshour/show/glacier-ice-samples-act-as-records-of-climate-changes-impact-on-earth>
- BPCRC. 2016. Ice core drilling on the Guliya Ice Cap. <https://www.youtube.com/watch?v=UcwSonWRVIE&t=41s>
- Arenschild L. 2021. 15,000-year-old viruses were discovered in Tibetan glacier ice.

Un marco educativo de microbiología centrado en los niños

<https://news.osu.edu/15000-year-old-viruses-discovered-in-tibetan-glacier-ice/>
Ludacer R. 2018. How humans evolved from the first life - microbes.
<https://www.youtube.com/watch?v=2W5hOJaFjxU>
What if all the world's ice melt? <https://www.youtube.com/watch?v=dEYJV9ApH5Q>
Immerzeel W.W. et al., 2019. Global distribution of glacier-based water tower units:
<https://www.nature.com/articles/s41586-019-1822-y/figures/1>
Top 10 places where life might exist beyond Earth:
<https://www.youtube.com/watch?v=ljBEjA7bMsY>
Research publication for the EPICA Dome C core:
<https://www.science.org/doi/10.1126/science.1141038>
Research publication for the North GRIP core: <https://www.nature.com/articles/nature02805>

Glosario

Proteína de unión al hielo: La proteína de unión al hielo (IBP) incluye dos grupos: las proteínas anticongelantes (AFP) y la proteína nucleante del hielo (INP):

La AFP es una proteína que puede disminuir el punto de congelación del fluido para evitar la congelación. Si crecen cristales de hielo en el interior o alrededor de los microbios, éstos pueden herirlos o dificultar su supervivencia. Por ello, algunos microbios adaptados a la vida a bajas temperaturas fabrican una PFA que se adhiere a los pequeños cristales de hielo e impide que crezcan.

La INP es una proteína que puede iniciar la formación de cristales de hielo. Los cristales de hielo pueden dañar las células. Algunos microbios capaces de vivir con hielo producen INP, que crea cristales de hielo que dañan y rompen las células vegetales, proporcionando así a los microbios acceso a los nutrientes de las células vegetales.

El Tercer Polo: La zona fría y de gran altitud de la meseta tibetana de Asia y la cordillera del Himalaya es tan importante para la circulación atmosférica y el clima regional y planetario, así como para los seres humanos que viven en la región, que se le ha dado el nombre de "Tercer Polo". Se trata de una región helada con una altitud media superior a los 4.000 metros sobre el nivel del mar y más de 46.000 glaciares. Estos glaciares contienen la mayor reserva de agua dulce fuera de las dos regiones polares (es decir, el Ártico y el Antártico). El Tercer Polo está considerado la «Torre del Agua» de Asia, ya que alimenta los mayores ríos de Asia y proporciona agua dulce a más de 1.500 millones de personas de 12 países asiáticos (Afganistán, Bangladesh, Bután, China, India, Kazajistán, Kirguistán, Myanmar, Nepal, Pakistán, Tayikistán y Uzbekistán).