

Protectores solares microbianos



Foto de Kindel Media <https://www.pexels.com/photo/a-boy-with-a-sun-on-his-back-8215118/>

Ellie Rose Mattoon¹, Arturo Casadevall², Radames JB Cordero²

¹Johns Hopkins University, Krieger School of Arts and Sciences,² Harry Feinstone Molecular Microbiology and Immunology Department, Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health, Baltimore, MD, EE.UU.

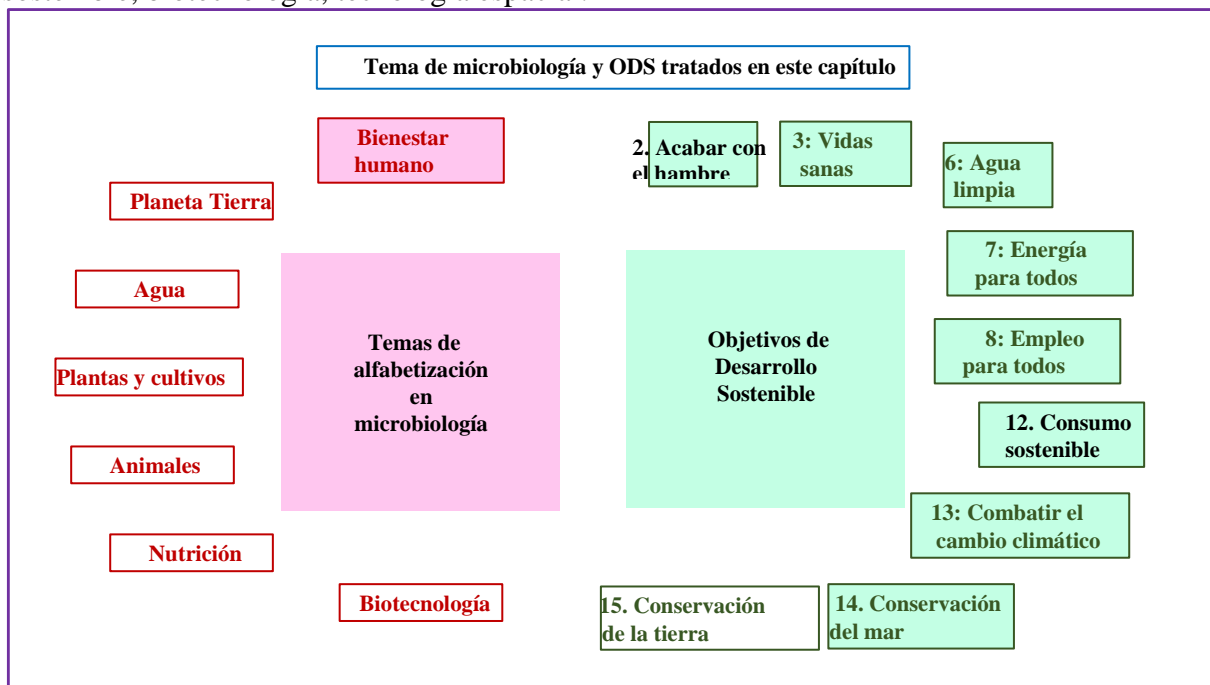
Protectores solares microbianos

Sinopsis

Es posible que haya oído que es importante ponerse crema solar cuando se sale al exterior, esto se debe a que las cremas solares protegen nuestra piel de los peligrosos rayos solares ultravioletas. Sin embargo, no todos los organismos se ponen crema solar como los humanos. En cambio, muchas formas de vida utilizan pigmentos. Los pigmentos tienen múltiples funciones en biología, como la comunicación visual, la protección y la regulación de la temperatura corporal. En este caso, los pigmentos actúan como filtros solares naturales, dando a los organismos sus colores distintivos. Estos pigmentos funcionan como filtros solares absorbiendo la radiación y disipándola en forma de calor. Un pigmento que ayuda a proteger a los organismos de los rayos UV es la melanina. La melanina se encuentra en la piel humana, en las plantas y también en hongos microscópicos y bacterias. La melanina microbiana no sólo protege contra la luz ultravioleta, sino también contra los rayos X, los rayos gamma y una plétora de diferentes estreses ambientales, incluido el estrés térmico. Poco a poco, los científicos han ido aprendiendo a utilizar la melanina fúngica en nuestro beneficio. Las propiedades especiales de la melanina fúngica pueden utilizarse, por ejemplo, para limpiar las aguas residuales contaminadas. Los científicos trabajan actualmente para ver si la melanina fúngica puede utilizarse para proteger a los astronautas de la radiación mientras están en el espacio.

La microbiología y el contexto social

La microbiología: hongos microbianos, adaptaciones microbianas al estrés por radiación, evolución, respuesta microbiana al estrés, radioprotección fúngica. *Sostenibilidad:* energía sostenible, biotecnología, tecnología espacial.



Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

Protectores solares microbianos: la microbiología

1. Todos los seres vivos reciben radiaciones y reaccionan ante ellas. La radiación es esencial para la vida, pero puede ser perjudicial según el tipo y la cantidad de exposición. Por un lado, necesitamos exponernos a la radiación solar para producir vitamina D, que ayuda a fortalecer los huesos (para más información, consulte el artículo de Healthline sobre algunos de los beneficios de la luz solar). Por otro lado, cualquiera que se haya quemado con el sol sabe que puede haber demasiada luz solar.

Los biólogos suelen utilizar el término "estrés" para describir cualquier acontecimiento que produzca una respuesta. Normalmente, cuando un organismo está estresado, su respuesta es crucial para su supervivencia. Algunos ejemplos de estrés son el calor extremo, el frío extremo o la radiación. La energía de la radiación es un tipo de estrés al que toda forma de vida tiene que responder. La radiación está a nuestro alrededor y se presenta en forma de luz u ondas electromagnéticas de diferentes longitudes de onda (Figura 1). El espectro electromagnético incluye longitudes de onda que podemos ver (como las longitudes de onda visibles) y longitudes de onda que no podemos ver pero sentimos como calor (como las longitudes de onda infrarrojas). La existencia de estas longitudes de onda "invisibles" se descubrió utilizando instrumentos especiales (para un recorrido en vídeo sobre la historia de estas diferentes ondas electromagnéticas, véase "Los límites de la luz"). Aunque invisibles, las longitudes de onda ultravioleta (UV) emitidas por nuestro Sol pueden penetrar en la atmósfera terrestre y provocar la mutación del ADN de las células de nuestra piel. Esto puede provocar cáncer de piel o melanoma. La radiación UV también puede desencadenar la acumulación de pequeñas moléculas tóxicas, como las especies reactivas del oxígeno (ROS), que también pueden dañar nuestro organismo. Los organismos vivos han desarrollado formas de responder y protegerse contra el estrés inducido por la energía de la radiación (para más información, consulta el vídeo sobre el espectro electromagnético o el vídeo sobre la radiación).

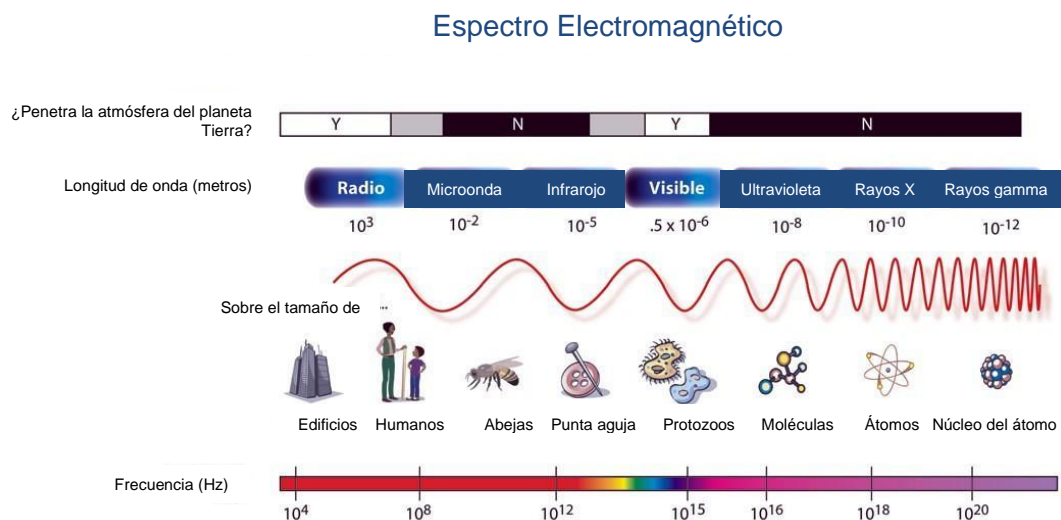


Figura 1. El espectro electromagnético. El espectro electromagnético. Las ondas electromagnéticas se clasifican en función de su longitud de onda: Ondas de radio, microondas, infrarrojos, visible, ultravioleta, rayos X y rayos gamma. Estos rayos tienen propiedades diferentes en cuanto a su tamaño, frecuencia, temperatura de los cuerpos que emiten la longitud de onda y penetración en la atmósfera terrestre.

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

"Espectro electromagnético" de Allen Gathman está bajo licencia CC BY-NC-SA 2.0. Tenga en cuenta que la figura indica que las ondas UV no suelen penetrar en la atmósfera terrestre. Sin embargo, las ondas UV más largas pueden penetrar la atmósfera terrestre.

Además de las ondas electromagnéticas, la energía de radiación también existe en forma de partículas atómicas y subatómicas que viajan a velocidades cercanas a la de la luz. Esta radiación en partículas se conoce como radiación cósmica y puede ser extremadamente dañina para los organismos vivos. La radiación cósmica procede de nuestro Sol y de otras estrellas del espacio, pero no puede penetrar la magnetosfera de la Tierra. Mientras que los seres humanos en la Tierra no tienen que preocuparse por la radiación cósmica, es un problema grave para los astronautas que viajan más lejos en el espacio. La radiación de partículas emitida por el Sol también es responsable de las auroras boreales (consulte la guía de la NASA Radiación cósmica para obtener más recursos educativos, puede encontrar más recursos en NOVA scienceNOW, Perspectiva cósmica, auroras boreales).

2. Los pigmentos microbianos actúan como filtros solares naturales que protegen a los organismos de las radiaciones nocivas. Es posible que haya oído que es importante ponerse crema de protección solar cuando se sale, esto se debe a que los filtros solares protegen nuestra piel de los dañinos rayos solares UV. Algunos protectores solares absorben la radiación UV y la disipan en forma de calor. Otros actúan reflejando la radiación UV, contienen pequeños compuestos químicos que hacen que la radiación rebote en nuestra piel del mismo modo que la luz visible rebota en una superficie blanca. Por eso es posible que tu nariz o tu cara parezcan un poco blancas después de ponerte protector solar (consulta los vídeos de ThatPhysicsGirl y Veritasium para obtener más información sobre los protectores solares y los rayos UV).

Por supuesto, no todos los organismos se protegen del sol como los humanos. En cambio, muchas formas de vida utilizan diferentes pigmentos que actúan como protectores solares naturales, dando a los organismos sus colores distintivos en el camino. Estos pigmentos absorben la radiación y la disipan en forma de calor. La mayoría de estos pigmentos, si no todos, también actúan como antioxidantes que neutralizan las peligrosas especies reactivas del oxígeno (ROS).

Los carotenoides son una familia de pigmentos de color rojo anaranjado. Aunque absorben la luz ultravioleta, reflejan la luz que tiene longitudes de onda más largas y nos parece roja o naranja (véase la Figura 1). Probablemente reconozca los carotenoides por el color distintivo que dan a las zanahorias y los tomates. Mucha gente dice que las zanahorias son buenas para la vista porque los carotenoides pueden ayudar a proteger los ojos de la radiación UV absorbiendo la luz ultravioleta y neutralizando las ERO. Esta misma molécula también se encuentra en el mundo de los microbios. En los microbios que utilizan **la fotosíntesis** para fabricar su alimento, los carotenoides ayudan a absorber la luz solar protegiendo las moléculas **de clorofila**.

La figura 2 es una imagen del Gran Manantial Prismático. Se encuentra en el Parque Nacional de Yellowstone, en Estados Unidos. El anillo naranja-rojo que rodea el agua procede de los carotenoides que se encuentran en algas y bacterias. Durante los meses de verano, cuando los niveles de luz solar son altos, estos microbios producen más carotenoides para protegerse de los rayos UV.

A veces, los compuestos que los microbios utilizan como protección solar pueden servir también para la protección solar humana. Actualmente, los científicos trabajan en la producción de protectores solares que utilizan compuestos llamados **aminoácidos similares a la micosporina (MAA)** procedentes de cianobacterias y otros microorganismos marinos. Aunque los protectores solares protegen a los seres humanos de la radiación UV, ciertos compuestos sintéticos plantean

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

algunos problemas medioambientales y sanitarios. A partir de 2021, el estado de Hawai prohibió la venta de protectores solares con oxibenzona y octinoxato. Estos ingredientes son buenos para absorber los rayos UV, pero también pueden dañar los arrecifes de coral y ser absorbidos por el torrente sanguíneo del organismo. Además, el ácido para-aminobenzoico (PABA), que absorbe los rayos UV, está prohibido en Canadá por ser ligeramente tóxico en estudios con animales (para más información, lea el artículo de Healthline). El uso de moléculas naturales como el MAA puede ser una alternativa más saludable y respetuosa con el medio ambiente a estos compuestos. El MAA del alga *Porphyra umbilicalis* se utiliza en dos protectores solares comerciales hasta la fecha: Helionori y Heliogard365 (véase el artículo de LabRoots para más información sobre estos protectores solares).



Figura 2. El Gran Manantial Prismático del Parque Nacional de Yellowstone. El anillo naranja alrededor del agua, que se hace más evidente en los meses soleados de verano, se atribuye a microbios pigmentados. "Gran Manantial Prismático - Parque Nacional de Yellowstone, Wyoming" by Trodel is licensed under CC BY-SA 2.0.

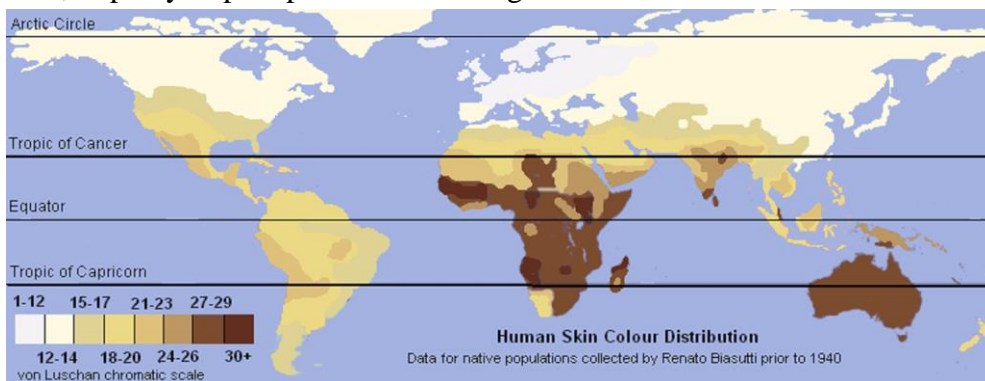
3. Las melaninas microbianas pueden proteger a los microorganismos más allá de la radiación UV. Es posible que hayas llegado a casa bronceado tras un largo día de playa, ¡sobre todo si olvidaste ponerte suficiente crema solar! Esto se debe a un conjunto de pigmentos en los seres humanos llamados melaninas, que nuestros cuerpos han estado utilizando para protegerse de los rayos del sol mucho antes de que se inventara el protector solar. La melanina se encuentra en la piel y el pelo, y nos protege absorbiendo la radiación UV y disipándola en forma de calor. La melanina también actúa como antioxidante, lo que significa que puede neutralizar las radiaciones nocivas antes de que dañen nuestro organismo. Existen dos tipos de melanina en los seres humanos: la eumelanina y la feomelanina. La feomelanina produce pigmentos amarillos o marrones rojizos, como los del pelo rojo o las pecas. La eumelanina produce colores negros o marrones oscuros y se encuentra en el pelo oscuro y en los tonos oscuros de la piel. La cantidad de melanina que produce el ser humano puede cambiar con el tiempo. Piense en la última vez que se bronceó. Esto se debió a que tu cuerpo, al reconocer que te estabas exponiendo a demasiada luz solar UV, empezó a crear más melanina para protegerte de absorber demasiada radiación UV. Para más información sobre la melanina en general, consulta el artículo de *Britannica*.

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

Las melaninas no sólo las producen los humanos, sino también la mayoría de animales y plantas. Una forma rápida de ver cómo se melaniza una planta para protegerse es sumergir medio plátano en agua caliente durante un minuto (para más información, véase el artículo y el vídeo sobre el plátano). Efectivamente, ¡su cáscara empezará a melanizarse y a volverse marrón! Al igual que la luz ultravioleta, el calor también produce especies reactivas del oxígeno. En el caso de este experimento, el plátano produjo melanina allí donde necesitaba protegerse del agua caliente. Esta melanina actuó como un antioxidante que neutralizó o absorbió los radicales libres producidos por el agua caliente. Los hongos y otros microorganismos también utilizan la melanina. Los hongos microbianos utilizan melanina al igual que los humanos. Sin embargo, en estos microbios la melanina hace algo más que proteger contra la radiación UV. La melanina fúngica también puede proteger a los hongos del estrés provocado por otros tipos de radiación. La protección frente a la radiación se conoce como **fotoprotección**. La melanina puede proteger a los hongos de la radiación de rayos X y gamma, lo que hace que muchos hongos sean muy hábiles para sobrevivir en entornos difíciles, como el reactor nuclear dañado de Chernóbil. Mientras que la mayoría de las formas de vida intentan evitar la radiación siempre que es posible, se ha descubierto que los hongos melanizados crecen hacia la radiación. Este fenómeno se conoce como **radiotropismo** o atracción por la radiación. La melanina no sólo protege a los hongos contra la radiación, sino que también parece mediar en la recolección de la radiación que absorbe para el crecimiento de los hongos. Los detalles sobre cómo la melanina puede permitir esta recolección están aún por descubrir.

Cuadro 1: La diversidad del color de la piel humana

Cuando ciertas poblaciones humanas emigraron de África a lugares con menos luz solar directa, como Europa o Asia, se encontraron con un problema diferente. Ahora había muy poca luz solar para sintetizar vitamina D. Sus cuerpos tuvieron que aprender a producir menos melanina para que más luz pudiera atravesar la piel y producir vitamina D. La vitamina D es necesaria para fortalecer los huesos y absorber nutrientes vitales. Esto hizo que los individuos tuvieran la piel y el pelo más claros. Dependiendo de dónde vivieran tus antepasados, tu piel y tu pelo podían tener una gran variedad de tonos.



Un mapa aproximado de los colores de la piel humana basado en la latitud. "File:Unlabeled Renatto Luschan Skin color map.svg" por !Original: El OgreVector: Crisco 1492 is licensed under CC BY-SA 3.0

(Para más recursos, consulta el artículo de KidsHealth sobre el color de la piel, el vídeo TEDED sobre el color de la piel o la charla TED de Nina Jablonski).

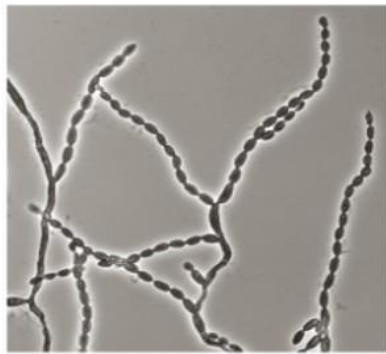
Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

4. Los científicos trabajan para utilizar la melanina de los hongos para proteger a los humanos de la radiación. Los humanos tardamos mucho tiempo en adaptar nuestros patrones de melanización al clima de la Tierra. No queremos esperar tanto para empezar a explorar el espacio. No obstante, la radiación cósmica es peligrosa para los astronautas, ya que puede dañar las células. La radiación espacial también puede interferir con la electrónica. ¿Cómo podemos fabricar dispositivos de protección más ligeros y eficaces? La biología podría ayudarnos.

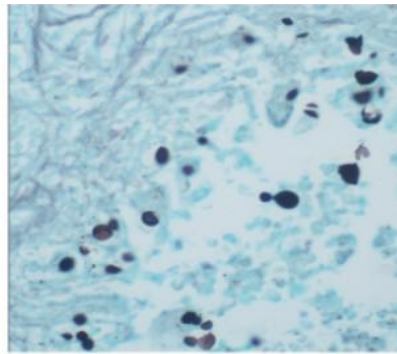
Los científicos lograron extraer melanina de la levadura *Cryptococcus neoformans* y actualmente la están probando para ver hasta qué punto resiste la radiación en el espacio. Uno de estos experimentos está en curso en la **Estación Espacial Internacional**. Es posible que un recubrimiento negro de una nave espacial y de los trajes espaciales derivado de células fúngicas ayude a hacer realidad el futuro de los viajes espaciales (para más información, véase el artículo sobre la melanina en el espacio). Esta protección contra la radiación también podría adaptarse para ayudar a las personas en la Tierra. Los enfermos de cáncer suelen estar expuestos a grandes cantidades de radiación mientras reciben tratamiento, y los médicos se exponen a la radiación cuando diagnostican y tratan a los pacientes. La melanina fúngica podría algún día contribuir también a su protección.

Diversidad de hongos pigmentados

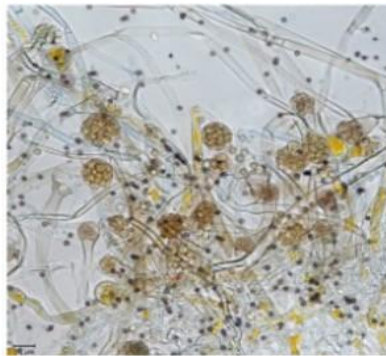
Aún cuando parezcan diferentes, todos estos tienen pigmentación en común



Cladophialophora bantiana
Melanin



Cryptococcus neoformans
Melanin



Phycomyces blakesleeenanus
Carotenoids



Cryptococcus neoformans
Melanin

Figura 3. Panel de diferentes hongos melanizados. Figura creada en Biorender.com. "Criptococosis - tinción GMS" por Pulmonary Pathology está licenciado bajo CC BY- SA 2.0. "File:Cladophialophora bantiana UAMH10767.jpg" de Medmyco está licenciado bajo CC BY- SA 4.0. "Sporangia" por Cornell Fungi está licenciado bajo CC BY-NC- SA 2.0.

¿Cómo aislar melanina de células de hongos?



Figura 4. Esquema para el aislamiento de melanina a partir de biomasa fúngica. Figura creada en biorender.com. Las enzimas digestivas se representan como recuadros azules.

5. Los pigmentos microbianos desempeñan muchas funciones biológicas. Los pigmentos microbianos no sólo protegen a los organismos de la radiación. El color producido por los microbios pigmentados puede atraer visualmente a otros organismos, como los insectos, que ayudan al microbio a propagarse y reproducirse. Los pigmentos microbianos también sirven para captar la energía de la radiación y utilizarla para crecer (fotosíntesis) o calentarse (termorregulación). Los pigmentos como la melanina también pueden evitar que los hongos se sequen al aumentar la capacidad de la célula para absorber agua. Esto ayuda a los hongos a sobrevivir en entornos secos. Se ha demostrado que los hongos melanizados colocados en agua caliente sobreviven mejor que los no melanizados. Esto habla de la capacidad de la melanina para ayudar a los organismos microbianos a sobrevivir en ambientes cálidos. Uno de esos entornos cálidos es el cuerpo humano, donde la temperatura interna es de 37°C constantes. Para infectar a los humanos y causar enfermedades, los microorganismos tienen que sobrevivir a nuestras altas temperaturas. Dado que la melanina puede proteger a los hongos contra el estrés térmico y otros tipos de estrés, la melanina desempeña un papel importante en la capacidad de los microorganismos melanizados para infectar a los humanos y resistir al sistema inmunitario humano (para conocer las numerosas funciones de la melanina fúngica, véase el artículo sobre las funciones de la melanina fúngica más allá de la virulencia).

6. ¿Podemos utilizar pigmentos microbianos para restaurar ecosistemas? La biorremediación es un proceso que ayuda a restaurar una zona contaminada mediante la introducción de un microbio capaz de eliminar o inmovilizar los contaminantes en cuestión. Los metales pesados son uno de esos contaminantes que pueden filtrarse en entornos naturales desde vertederos, residuos animales y escorrentías. Cuando se acumulan en grandes cantidades, estos metales pesados pueden ser peligrosos tanto para los animales del hábitat como para los seres humanos que se alimentan de esos animales. Dado que los metales no pueden degradarse ni destruirse, tienden a persistir en el medio ambiente durante mucho tiempo (para más información,

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

véase el artículo sobre la contaminación por metales pesados).

Las propiedades químicas únicas de la melanina le confieren la capacidad de unirse a diversos metales del entorno, como el cobre, el calcio, el magnesio y el zinc. En el medio ambiente, los hongos necesitan absorber estos metales cruciales para su supervivencia. Mientras que los hongos quieren recoger los metales con la melanina, los humanos quieren deshacerse de los metales en los cursos de agua. Algunos científicos han trabajado en el desarrollo de membranas recubiertas de melanina para eliminar los metales pesados del agua contaminada y han tenido éxito. Casi el 80% del plomo de una muestra de agua fue eliminado por estas membranas melanizadas (véase el artículo científico para una lectura más avanzada).

Otro contaminante preocupante son los productos farmacéuticos en los cursos de agua. A veces, las masas de agua pueden contaminarse con diversos medicamentos de venta con o sin receta que llegan a las vías fluviales. Esto puede ocurrir si una persona tira por el retrete los fármacos que no ha consumido o si quedan trazas de un medicamento en la orina humana. Aunque todavía no hay pruebas concluyentes de que esta contaminación perjudique a los seres humanos, sí se ha demostrado que causa graves efectos en la vida acuática (para más información, véase el artículo sobre contaminación farmacéutica). Sin embargo, la melanina también puede absorber estos fármacos y eliminarlos de los cursos de agua. La bacteria *E. coli* melanizada absorbió eficazmente el 88% de la cloroquina en una muestra de agua, por ejemplo (véase el artículo científico para una lectura más avanzada).

7. Los pigmentos microbianos desempeñan un papel clave en el deshielo polar. El deshielo de los polos de la Antártida y el Ártico es un problema urgente. Cuando el hielo se derrite, empuja agua fresca y fría hacia los océanos. Toneladas de corrientes de agua fría pueden cambiar el flujo normal de los océanos en todo el planeta, lo que es importante para el clima en otras partes del globo. El deshielo también modifica el flujo de aire, lo que puede provocar cambios meteorológicos extremos, sobre todo en los países del norte y del sur. Muchos microorganismos pigmentados (algas, hongos y bacterias) pueden crecer en la superficie del hielo. Estos microbios también producen pigmentos como protectores solares y para la fotosíntesis, pero como el pigmento absorbe la luz solar, también calienta el hielo, aumentando su fusión. Los científicos trabajan activamente en este complejo problema, tratando de entender qué impulsa el crecimiento y la pigmentación de estos microorganismos, así como, las formas de predecir su impacto en el futuro del clima mundial. (Véase la película *Ice Alive*, del laureado Joseph Cook, sobre cómo los microbios pigmentados están aumentando el deshielo de los polos y podrían estar contribuyendo al cambio climático).

Relevancia para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y los Grandes Retos

(<https://sdgs.un.org/2030agenda>)

La dimensión *microbiana* de la melanina está relacionada con varios ODS (*aspectos microbianos en cursiva*), entre ellos

- **Objetivo 3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades** (*respuesta microbiana al estrés, adaptación de los microbios a su entorno*) La melanina fúngica tiene el potencial de ayudar a los seres humanos a resistir la radiación tanto en la Tierra como en el espacio.
- **Objetivo 14. Conservar y utilizar de forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible** (*remediar la contaminación*). La

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

capacidad de la melanina fúngica para unirse a metales pesados puede ayudarles a desempeñar un papel en la biorremediación de ecosistemas contaminados, incluidos los océanos. La melanina microbiana podría utilizarse en protectores solares como alternativa a ingredientes que pueden dañar a los seres humanos y a la vida marina.

Posibles implicaciones para las decisiones

1. *Individual*

a. ¿Debo taparme o utilizar crema solar para proteger mi piel de los peligrosos rayos UV cuando salgo al sol? ¿Cuáles son las ventajas y los inconvenientes de utilizar protección solar? (*Ventajas: UV protección, prevención del cáncer de piel. Desventajas: preocupación medioambiental/coral, preocupación sanitaria de varios ingredientes*).

2. *Políticas nacionales*

- a. Educación sobre los peligros para la salud de la irradiación UV y la necesidad de reducir la exposición.
- b. Apoyo a la investigación biotecnológica sobre nuevos protectores solares
- c. Políticas anticontaminación
- d. Las agencias de protección del medio ambiente fomentarán la biorremediación

Participación de los alumnos

1. *Debate en clase sobre los problemas asociados a los protectores solares*

- a. ¿Utiliza o utiliza su familia protección solar? ¿Qué tipo de protección solar (loción, barra, spray) o marca utilizan? ¿Qué tipo prefiere usted?
- b. ¿Cuál es la forma correcta de utilizar el protector solar? ¿Te aplicas el protector solar de la forma correcta?
- c. ¿Qué beneficios aportan los distintos factores de **protección solar**?
- d. ¿En qué se parece la melanización humana a la de otros organismos? ¿En qué ¿diferente?
- e. ¿Qué colores diferentes de organismos (plantas, animales) puedes ver a tu alrededor? ¿Por qué ¿crees que son de ese color?
- f. ¿Qué tipo de tecnología podría beneficiarse de la melanina fúngica?
- g. Si la melanina protege a los astronautas de la radiación espacial, ¿cómo pueden utilizarla para protegerse?

2. *Sensibilización de los alumnos*

a. Las melaninas son moléculas potentes con poderosas propiedades protectoras. Si pudieras utilizar la melanina para hacer cualquier invento, ¿cuál elegirías? ¿Y otros pigmentos microbianos?

3. *Ejercicios*

a. Trae a clase distintas marcas de crema solar y compara la lista de ingredientes. Busca ingredientes como MAA (aminoácido similar a la micospolina), que suelen proceder de

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

bacterias.

b. ¡Prueba el experimento del plátano mencionado en el cuerpo principal! Sumerge medio plátano en agua caliente durante un minuto y observa cómo se melaniza.

c. Si es posible, da un paseo por la naturaleza y pide a los alumnos que observen las distintas plantas y animales que se encuentren por el camino. ¿Les parece que algunos animales tienen más melanina que otros?

Base empírica, lecturas complementarias y material didáctico

Grados inferiores (5-12 años)

[La ciencia del color de la piel:](#)

[TEDED Kids-Health: Tu piel y tú](#)

[Física para niños: Tipos de ondas electromagnéticas](#)

[Melanina y plátanos: Experimentos](#)

[Guía de Radiación Cósmica de la](#)

[NASA](#)

- Nota La Actividad IIIc es un experimento sobre el blindaje de la levadura contra la radiación UV [Aurora Boreal](#)

Mayores de 13 años

[Radiación: SciShow](#)

[¿Cuáles son los beneficios de la luz solar? Protección solar MAA:](#)

[LabRoots Melanina: Artículo de Britannica](#)

[Nina Jablonski rompe la ilusión de la piel de todos los colores](#)

[Funciones de la melanina fúngica más allá de la virulencia:](#)

[Artículo científico](#)

[¿Por qué se vuelven marrones las manzanas y los plátanos? Vídeo sobre la melanización de las frutas Healthline: Ingredientes de los protectores solares](#)

[Contaminación por metales pesados Artículo](#)

[Melanina y unión a metales pesados Artículo sobre contaminación farmacéutica Harvard](#)

[Artículo sobre *E. coli* melanizada y](#)

[biorremediación Artículo sobre melanina en el espacio](#)

[That Physics Girl: El mundo bajo las cámaras UV](#)

[Veritasium: El mundo bajo las cámaras UV](#)

[Ice Alive de Joseph Cook, ganador del premio Rolex](#)

Glosario

Biorremediación: restauración de un medio natural contaminado mediante la introducción de un microorganismo para degradar el medio.

Carotenoides: pigmentos amarillos, naranjas y rojos producidos para proteger a los organismos de

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

la radiación Clorofila: pigmentos verdes presentes en bacterias, algas y plantas que permiten a los organismos absorber la luz solar para realizar la fotosíntesis.

Estación Espacial Internacional: estación espacial modular y multinacional en órbita terrestre que se utiliza para la investigación científica.

Melanina: conjunto de diversos pigmentos poliméricos presentes en la biosfera con múltiples funciones biológicas.

Aminoácidos similares a la micosporina (MAA): un conjunto de compuestos muy extendido en microbios y entornos marinos con conocidas propiedades de protección solar.

Fotoprotección: protección contra las radiaciones

Fotosíntesis: proceso bioquímico que utilizan algunos organismos para transformar la luz solar en alimento.

Radiación: energía en forma de vías electromagnéticas o partículas atómicas/subatómicas. La radiación electromagnética puede incluir ondas de radio, microondas, ondas ultravioletas y todo lo que hay entre ellas.

Radiotropismo: atracción de un organismo por la radiación, que puede manifestarse en una tendencia a crecer hacia las fuentes de radiación.

Especies reactivas del oxígeno (ERO): pequeñas moléculas que contienen oxígeno y que son químicamente inestables y pueden reaccionar con las biomoléculas del interior de las células, alterando su estructura y función. Las ROS se forman en gran medida cuando la radiación provoca la ionización de las moléculas de agua en el interior de la célula.

FPS: abreviatura de factor de protección solar, un número que corresponde al grado de protección solar que ofrece un determinado protector solar.

Estrés: cualquier acontecimiento que provoque una reacción en un organismo.