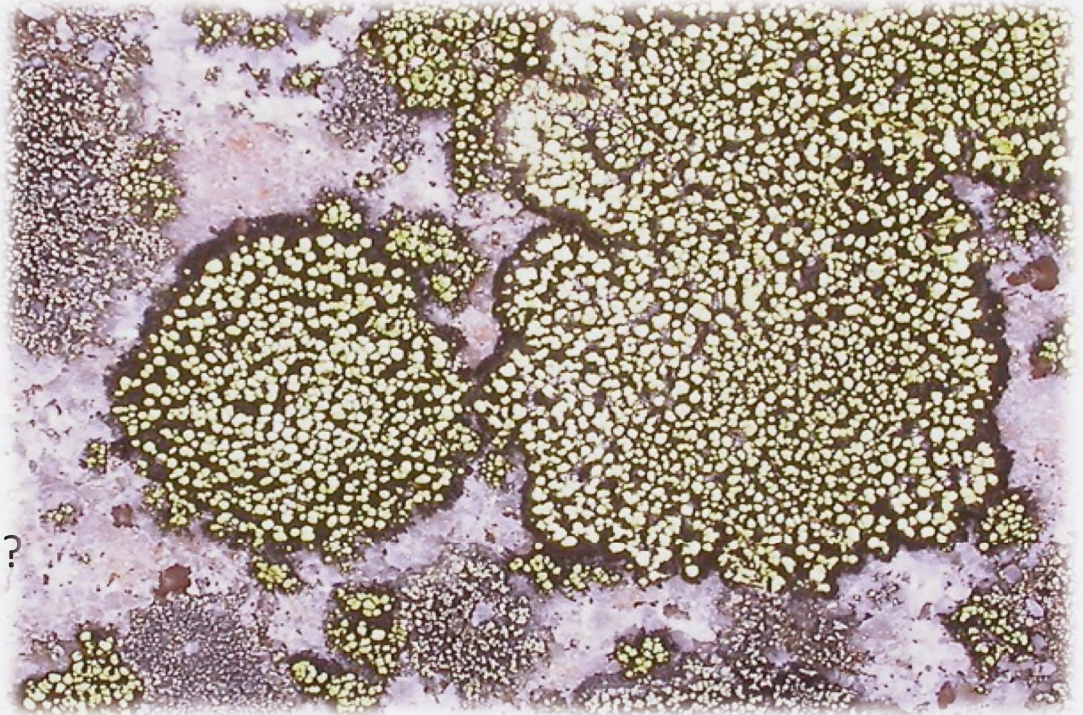




Rhizocarpon geographicum



¿Sabías que los líquenes, son los únicos organismos fotosintéticos capaces de sobrevivir en el espacio?

Si quieres conocer los procesos fisiológicos que se esconden tras este record, avanza en el temario

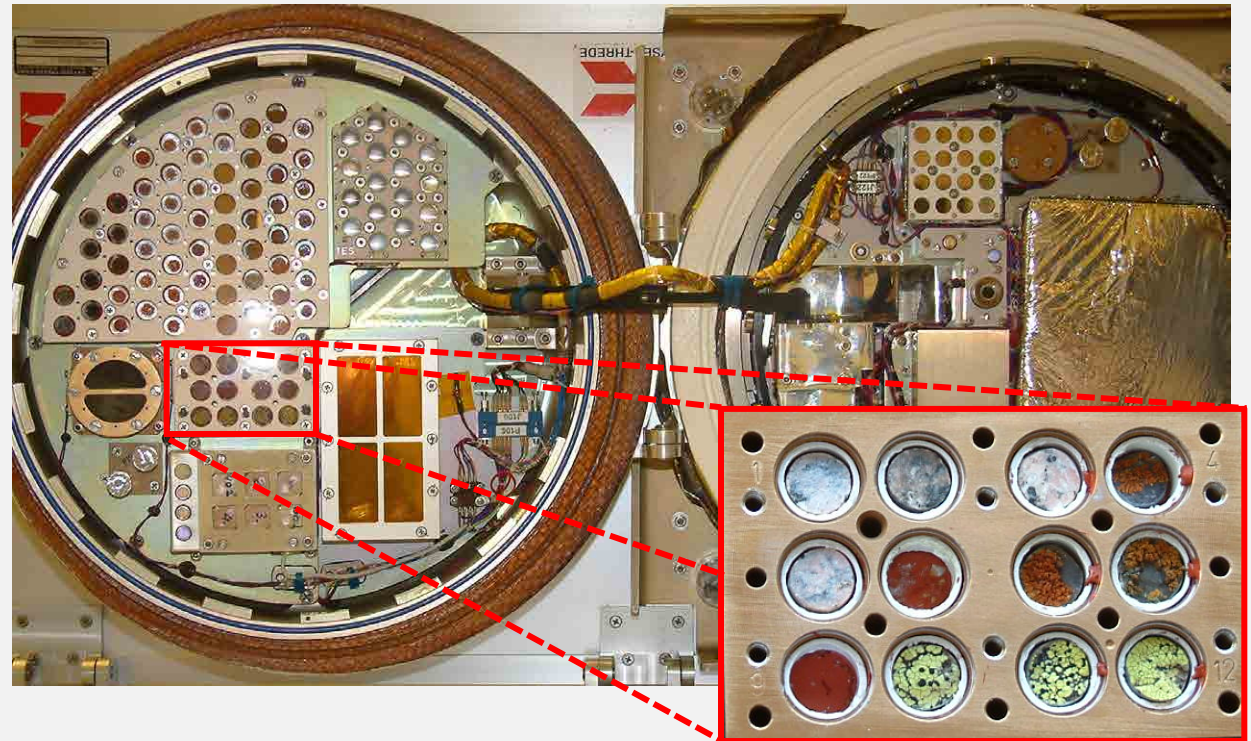
En 1903 el químico sueco Svante Arrhenius propuso su teoría de la “**panspermia**”, que postulaba que **organismos extremófilos** (que toleran condiciones ambientales extremas) o formas de resistencia, podrían viajar entre planetas e incluso sistemas planetarios, transportando la vida por todo el Universo. Una de sus posible vías sería a través de los fragmentos rocosos que se desprenderían de los planetas como consecuencia de las colisiones con cometas o meteoritos, que podrían portar estos propágulos de vida, lo que se conoce como la **litopanspermia**. Los líquenes, por su hábito de crecimiento sobre substratos rocosos (epilíticos), y su capacidad de supervivencia ante condiciones extremas, son excelentes candidatos para ser **vectores de esta litopanspermia**.



El líquen geógrafo (*Rhizocarpon geographicum*), uno de los enviados al espacio
Imagen propia: J. I. García Plazaola

Cien años después de que Arrhenius postulara su teoría, el año 2005, se planificó un experimento que verificara la posibilidad de que algunos organismos terrestres, incluyendo tres especies de líquenes, pudieran sobrevivir a las condiciones del espacio (vacío, radiación UV, radiación ionizante, temperatura próxima al cero absoluto). El **líquén geógrafo (*Rhizocarpon geographicum*)** fue uno de los tres seleccionados. En concreto se transportaron ejemplares recolectados en la Sierra de Gredos.

Para el experimento se diseñó el módulo “Biopan”, una especie de tartera, que sería transportada por el satélite ruso Foton-M2. Una vez abierta expondría directamente a los líquenes a las condiciones del espacio. Con este diseño las tres especies de líquenes estudiadas se expusieron durante 16 días a las condiciones del espacio.



Detalle del módulo Biopan en que se expusieron durante 16 días tres especies de líquenes, incluyendo *R. geographicum*, a las condiciones del espacio
 Imagen cedida amablemente por: Leopoldo García Sancho

Cuando el material biológico del experimento se recuperó en la Tierra, se constató que ninguno de los tres líquenes había sufrido daño alguno tras su periplo espacial, y que eran capaces de recuperar en poco tiempo su actividad fotosintética.

En años posteriores se han llevado a cabo nuevos experimentos con líquenes, que han ampliado la lista de especies tolerantes, la duración de los tiempos de exposición, y además han permitido comprobar la viabilidad de las estructuras reproductoras, dando apoyo a la teoría de los líquenes como vectores de la litopanspermia.



Lugar de aterrizaje de la cápsula Foton que muestra el desgaste de su estructura al atravesar la atmósfera terrestre. La flecha indica la ubicación del biopan
Imagen cedida amablemente por: Leopoldo García Sancho

Mediante esta planta record se van a abordar los siguientes procesos fisiológicos:

1.

La simbiosis

2.

La fotoprotección

Que tiene su interés para:

3.

La vida en ambientes extremos

1.

La simbiosis

1a.

Definición y tipos de simbiosis vegetales

1b.

La simbiosis liquénica

1a.

Definición y tipos de simbiosis vegetales

Simbiosis quiere decir “vida en común”. En general se entiende por simbiosis aquella relación entre dos o más organismos en la que todos ellos obtienen un beneficio de la interacción y que es, en general, esencial para su funcionamiento fisiológico. En el mundo vegetal las simbiosis, lejos de ser una excepcionalidad, son la regla general y de hecho prácticamente todas las plantas establecen relaciones simbióticas con otros organismos. Entre las simbiosis vegetales hay que distinguir los siguientes tipos:

-**Simbiosis con bacterias**, que buscan mejorar el estado nutricional, a través de procesos como **la fijación biológica del nitrógeno atmosférico** (ver Tema 8). Las bacterias pueden estar libres en las hojas o el entorno de las raíces (rizosfera) o formando estructuras específicas. Es el caso por ejemplo de los **nódulos de las leguminosas con bacterias del grupo de los rizobios** o del helecho acuático **Azolla con cianobacterias**.



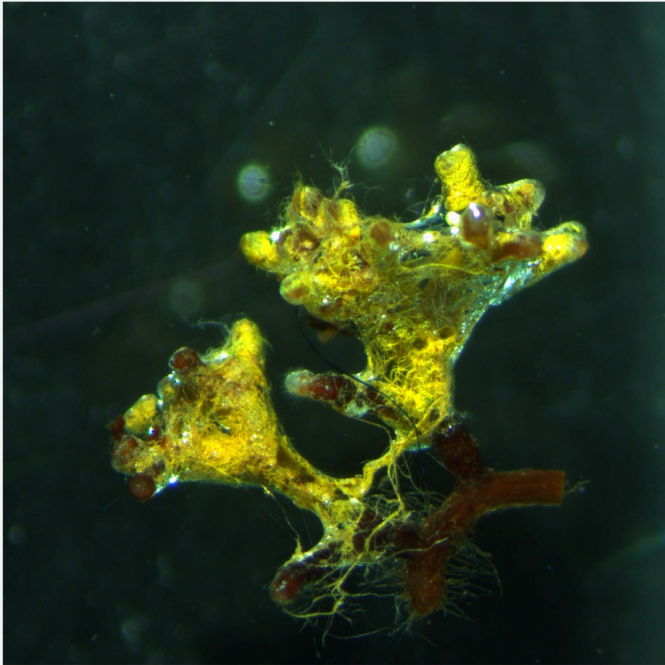
Helecho flotante *Azolla* que forma simbiosis con cianobacterias.

Imagen propia: J. I. García Plazaola

1a.

Definición y tipos de simbiosis vegetales

-**Simbiosis con hongos (micorrizas)**, en las que los hongos incrementan la capacidad de toma de agua y nutrientes de las raíces. Presente en la mayoría de las plantas vasculares.



Detalle de la micorriza formada por el hongo *Pisolithus arhizus* en raíces de *Pinus pinaster*.

Imagen cedida amablemente por: Miren Karmele Duñabeitia

-**Simbiosis con animales**, en la que éstos actúan como **polinizadores** o como **vectores de dispersión de las semillas vegetales**. A este último grupo pertenecen los primates, y por ende nuestra especie.



Mariposa (*Macroglossum stellatarum*) alimentándose del néctar de la flor de la bituminaria.

Imagen propia: J. I. García Plazaola

1b.

La simbiosis liquénica.

Quizás la simbiosis más íntima es la que forman hongos y las algas, y que da lugar a los líquenes, estructuras únicas que son más que la suma de sus componentes por separado.

Parece ser que los líquenes fueron de los primeros seres en lanzarse a la colonización del medio terrestre hace 500 millones de años. Como resultado de su éxito, los líquenes hoy en día están presentes en los ambientes más diversos y extremos. Así, en lugares como los Valles Secos de la Antártida, el desierto de Atacama o el monte Everest son los únicos habitantes macroscópicos que se puede encontrar. Pero su presencia también es conspicua en los bosques, campos y parques de lugares más amables para el ser humano. La clave de su éxito está en los beneficios que aporta el hongo.



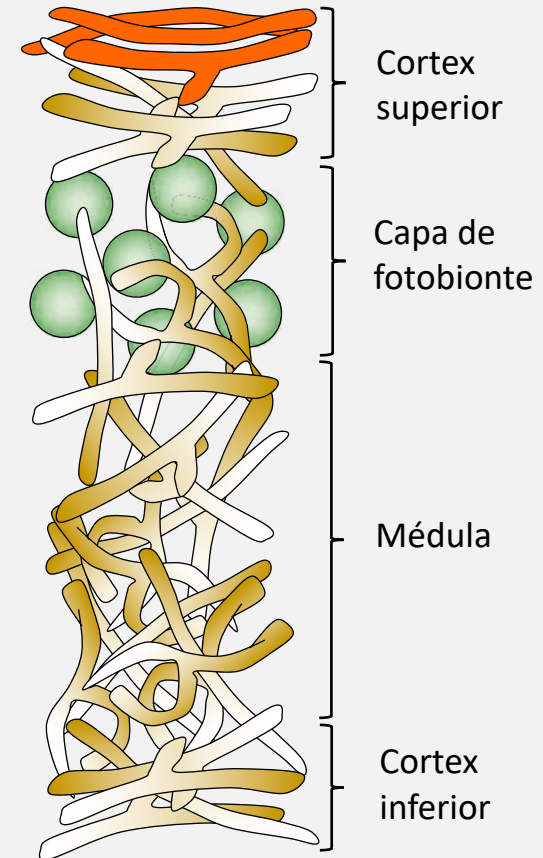
Líquenes dominando el paisaje vegetal en el desierto del Namib (A) y en la Antártida (B).
Imagen propia: J. I. García Plazaola

1b.

La simbiosis liquénica.

La estructura del líquen está generalmente dominada por el hongo (**micobionte**), que es quien da forma y soporte a la simbiosis. La capa más externa, el **córtex**, tiene una función protectora y es donde se acumulan los compuestos protectores que absorben la radiación UV (2b) antes de que incida sobre las capas inferiores en que se localizan las algas (**fotobionte**). Por debajo de la capa de fotobionte, el micobionte forma una **médula** y un cortex inferior que generalmente permite la unión al substrato.

Los fotobiontes son en la mayoría de los casos algas verdes unicelulares (**clorolíquenes**), aunque también es frecuente la simbiosis con algas verde-azuladas (**cianolíquenes**) y en casos excepcionales con macroalgas verdes. A veces los clorolíquenes presentan estructuras especiales que contienen cianobacterias, dando lugar a simbiosis tripartitas. Estudios recientes han añadido complejidad a la interacción, al mostrar la presencia de un tercer simbionte, una levadura, y de una rica comunidad bacteriana asociada.



Sección transversal de un talo de líquen mostrando su estructura formada por diferentes capas.
Imagen propia: J. I. García Plazaola

1b.

La simbiosis líquénica

Los líquenes son más que la suma de sus componentes por separado, y de hecho en simbiosis exhiben propiedades excepcionales que no manifiestan cuando los simbiosites son cultivados por separado. Una de ellas es su capacidad para tolerar la desecación de sus tejidos, de forma que paralizan el metabolismo al deshidratarse, recuperando casi de forma instantánea su actividad al rehidratarse.

Otra característica es su capacidad para producir muchos tipos de compuestos únicos, los denominados **metabolitos secundarios**, que frecuentemente se acumulan en el córtex exterior y son los **responsables de sus espectaculares colores y de su protección frente al UV** (2b).

Estas dos características equipan a los líquenes con las herramientas para sobrevivir en los ambientes más hostiles del planeta. Paradójicamente, pese esta gran tolerancia, muchas especies de líquenes son muy sensibles a la contaminación atmosférica, lo que ha provocado la extinción de ciertas especies en las regiones más pobladas de Europa.



Dos líquenes emparentados, pero con diferente fotobionte: *Lobaria scrobiculata* (cianolíquen, izquierda) y *Lobaria pulmonaria* (clorolíquen, derecha).

Imagen propia: J. I. García Plazaola

1b.

La simbiosis líquénica.



Aunque frecuentemente pasan inadvertidos, en ocasiones los líquenes pueden dominar y dar color al paisaje como en el caso de *Rhizocarpon* en los roquedos graníticos de Gredos.

Imagen propia: J. I. García Plazaola

2.

La fotoprotección

2a.

Definición, el problema del exceso de luz

2b.

Protección frente a la radiación UV

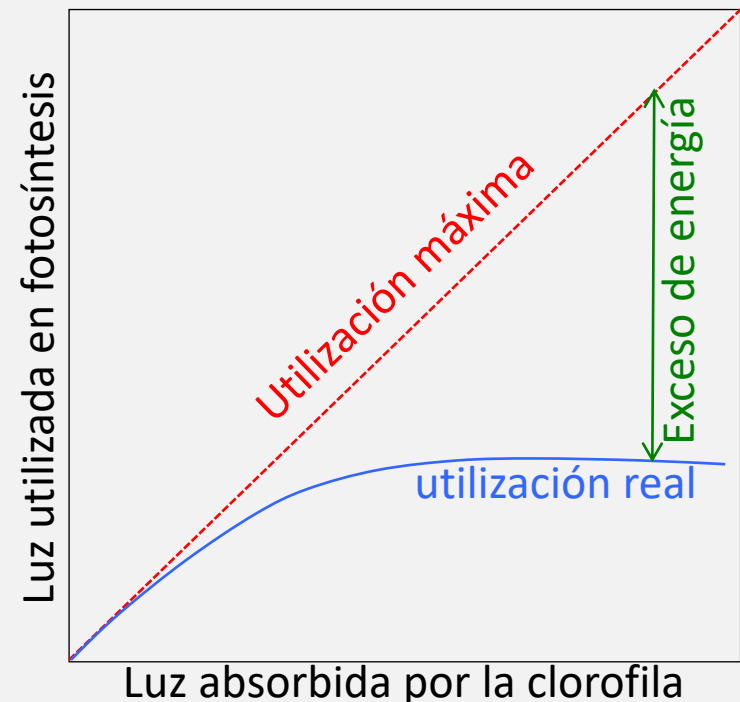
2c.

¿Mundos fluorescentes?

2a.

Definición, el problema del exceso de luz

Las plantas tienen una **relación de amor-odio con la luz**. Por un lado necesitan captarla para que el proceso de fotosíntesis pueda tener lugar, pero por otro necesitan protegerse de ella, ya que la absorción de un exceso de luz lleva a la generación de graves daños celulares. La razón de esta aparente paradoja está en la clorofila, esa molécula excepcional que es quien sustenta la vida en la tierra, y que tiene la capacidad de transformar la luz en la energía química posibilitando el milagro de la fotosíntesis: que no es otra cosa que transformar el aire en azúcar (ver Tema 1). Pero el mecanismo fisiológico que permite esta transformación de la energía luminosa en química, también tiene su lado negativo y es que una vez que la luz es absorbida por las clorofilas tiene que, necesariamente, emplearse en fotosíntesis, o de lo contrario generará la producción de “**Especies Reactivas de Oxígeno**” que dañan irreversiblemente las moléculas y estructuras celulares, generando el denominado “**estrés fotooxidativo**”.



Relación entre absorción y utilización de luz.

Imagen propia: J. I. García Plazaola

2a.

Definición, el problema del exceso de luz

Las plantas no emplean el 100% de la luz que absorben, sino que la utilización de la luz sigue una curva, de modo que se satura a partir de cierta intensidad de iluminación, y la fotosíntesis no sube más por mucho que la luz se incremente (línea azul en la figura anterior). Sin embargo la absorción de la luz es un proceso físico que depende exclusivamente de la iluminación (línea roja en la figura anterior). La diferencia entre ambas es la energía que, absorbida por la clorofila, no es utilizada y por tanto está en exceso. Este exceso si no se elimina de forma segura, interaccionará con el oxígeno, generando daños oxidativos. Para reducir ese exceso de energía las plantas necesitan emplear diversas **estrategias de “fotoprotección”**. Estas estrategias buscan reducir la captación de luz, incrementar la disipación de la energía absorbida o desactivar las especies reactivas de oxígeno. Algunos ejemplos llamativos y visibles de estos mecanismos de fotoprotección son por ejemplo la presencia de pelos reflectantes o de pigmentos rojizos que filtran la luz (ver Tema 5).



La fotoprotección: antocianinas que filtran la luz (arriba) y presencia de pelos que reflejan la luz (abajo).

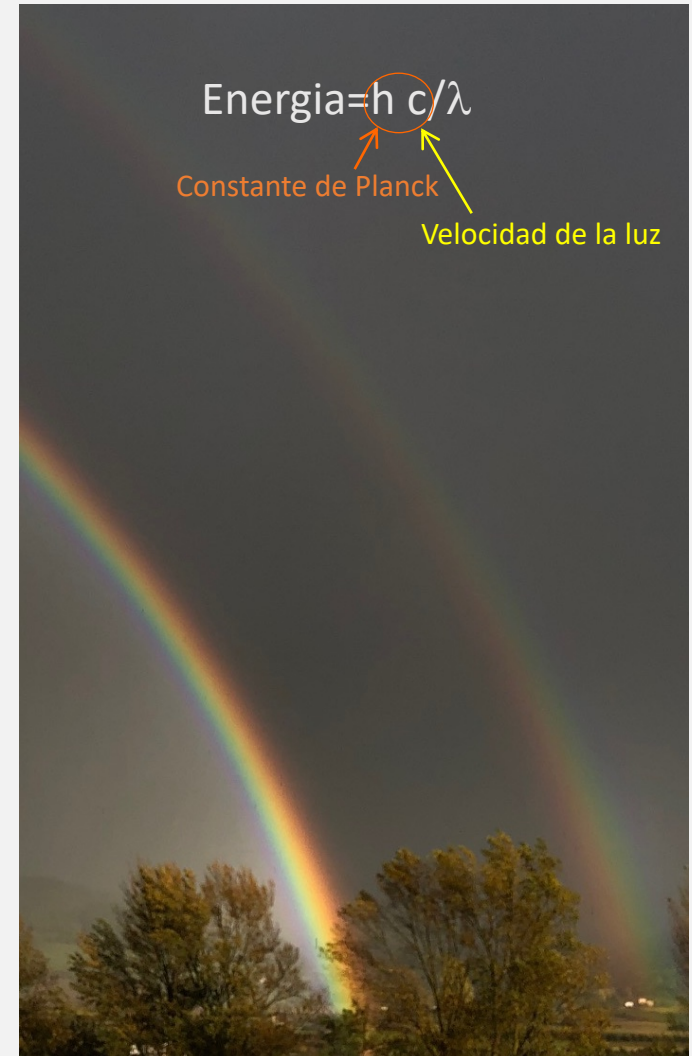
Imagen propia: J. I. García Plazaola

2b.

Protección frente a la radiación UV

El sol, además de emitir **radiación fotosintéticamente activa (PAR)**, con longitud de onda (λ) entre 400 nm (violeta) y 700 nm (rojo), emite otras radiaciones de λ más corta, el ultravioleta (UV). Dado que a menor λ , mayor energía, el UV es más energético, y por tanto más destructivo que la luz visible. De hecho el UV es el responsable en los humanos de las quemaduras solares o de muchos tumores cutáneos.

El UV se divide en tres regiones en función de su λ : **UV-A (400-320 nm)**; **UV-B (320-280 nm)** y **UV-C (<280 nm)**. El UV-C es afortunadamente filtrado por completo por la atmósfera, en tanto que UV-A y UV-B llegan a la superficie de la tierra. De los dos, el UV-B es el potencialmente más dañino, especialmente en situaciones en que su incidencia es alta: en verano, a mediodía, cuando hay nieve o a grandes altitudes.

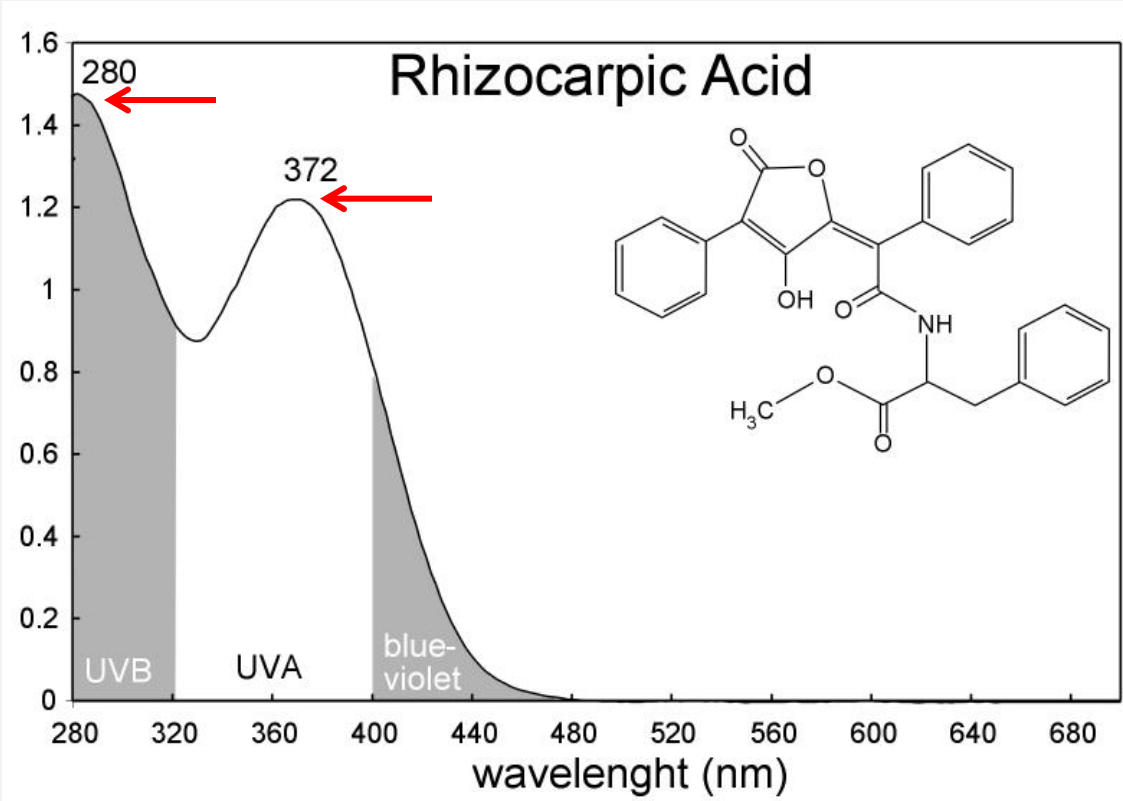
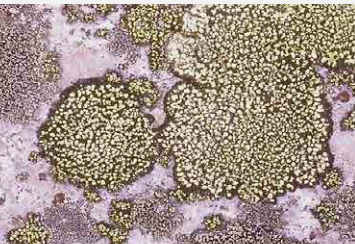


Relación entre longitud de onda y energía

Imagen propia: J. I. García Plazaola

2b.

Protección frente a la radiación UV



Estructura química y espectro de absorción del ácido rizocárpico, que da su característica coloración amarilla al liquen geógrafo al tiempo que lo protege de la letal radiación ultravioleta (indicada con flechas rojas los máximos de absorción en esta región del espectro).

Imagen propia: J. I. García Plazaola

2c.

¿Mundos fluorescentes?

Muchos de los pigmentos que absorben la radiación UV en el córtex de los líquenes tienen la particularidad de emitir fluorescencia, es decir que cuando son iluminados con una determinada λ , emiten de otra λ diferente. Este fenómeno se visualiza con facilidad cuando al iluminar los líquenes con luz UV, que es invisible para el ojo humano, se observa su emisión de luz visible de diversos y brillantes colores.

Recientemente se ha propuesto que la propiedad de poseer compuestos fluorescentes protectores frente al UV, podría ser un mecanismo común en exoplanetas expuestos a elevadas dosis de letal radiación UV-C. Ello a llevado a proponer que la búsqueda de emisiones biofluorescentes en los exoplanetas más próximos, por ejemplo en la estrella **Proxima Centauri**, podría llevar a encontrar la primera evidencia de vida extraterrestre.



Recreación de un planeta dentro de la zona habitable del sistema de Proxima Centauri (Imagen izquierda: [CC BY 4.0.](#)) , y del aspecto que podría tener su superficie (Imagen derecha: [CC BY 4.0.](#)).

2c.

¿Mundos fluorescentes?

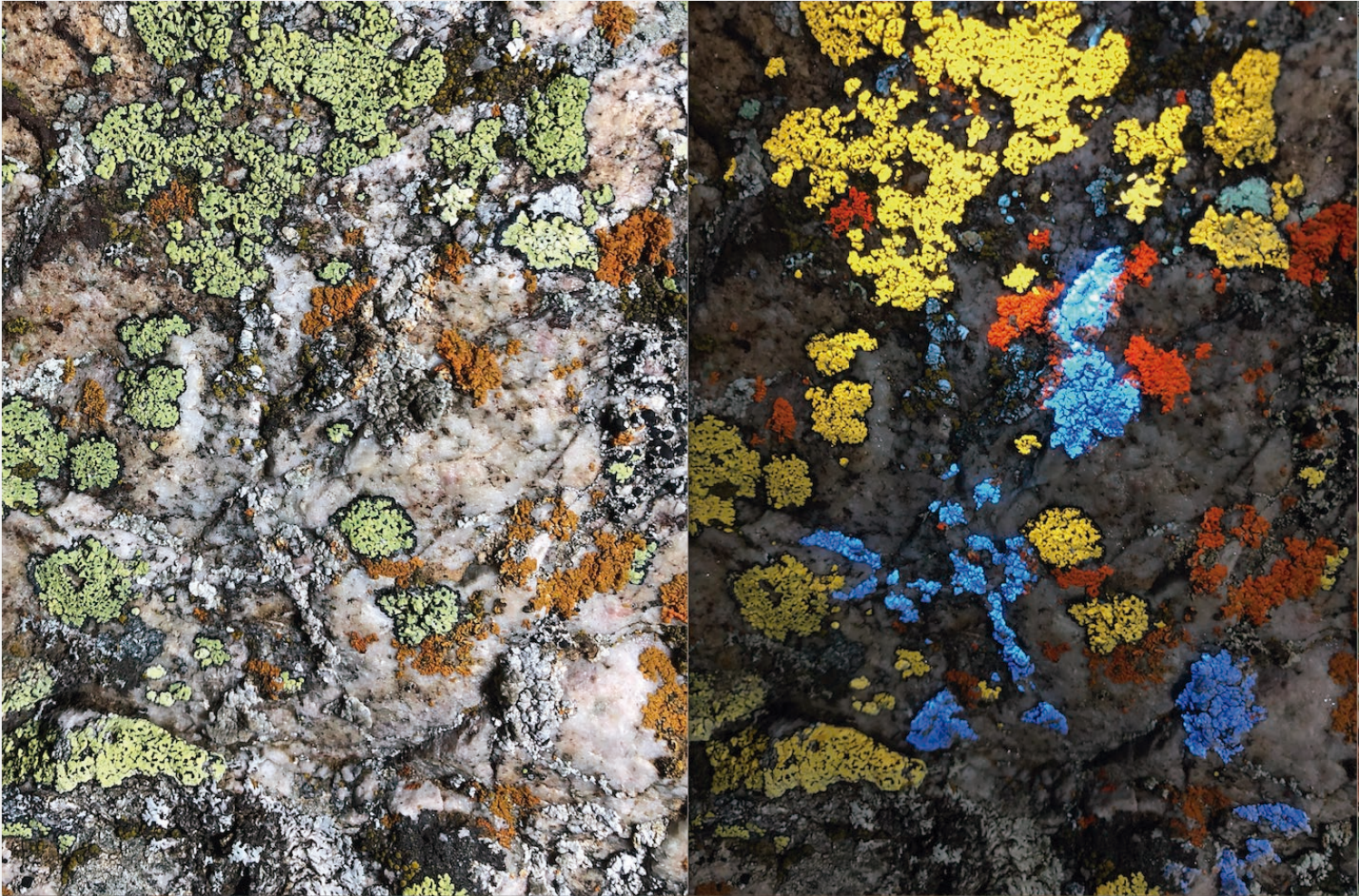


Imagen de una costra líquénica sobre una roca (izquierda) y la misma costra iluminada con UV-A para resaltar los brillantes colores de la fluorescencia de los compuestos fotoprotectores de los líquenes.

Imagen propia: J. I. García Plazaola

3.

La vida en ambientes extremos

3a. ¿cuáles son los ambientes extremos de la Tierra?

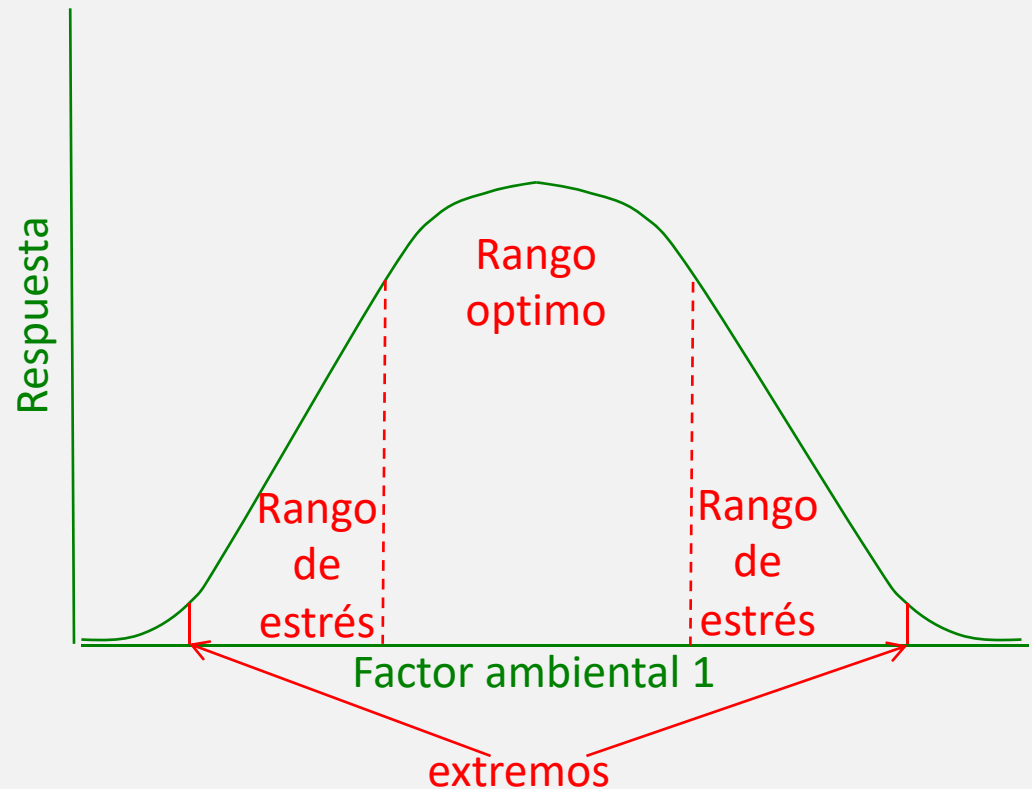
3b. Sus habitantes, ¿viven o sobreviven?

3c. ¿Sirve de algo estudiar estos ambientes?

3a. ¿cuáles son los ambientes extremos de la Tierra?

Según la **teoría general del estrés biológico** (Levitt 1972), la respuesta de un proceso biológico (p.ej. crecimiento) a un factor ambiental (p.ej. temperatura) se ajusta a una curva en forma de “A”, con un rango óptimo en que el proceso transcurre a tasas próximas al máximo y dos rangos de “estrés” en que el parámetro ambiental está en un rango subóptimo o supraóptimo (ver Tema 5). Ambos rangos se llegan hasta valores extremos que una vez superados el proceso en cuestión está completamente inhibido.

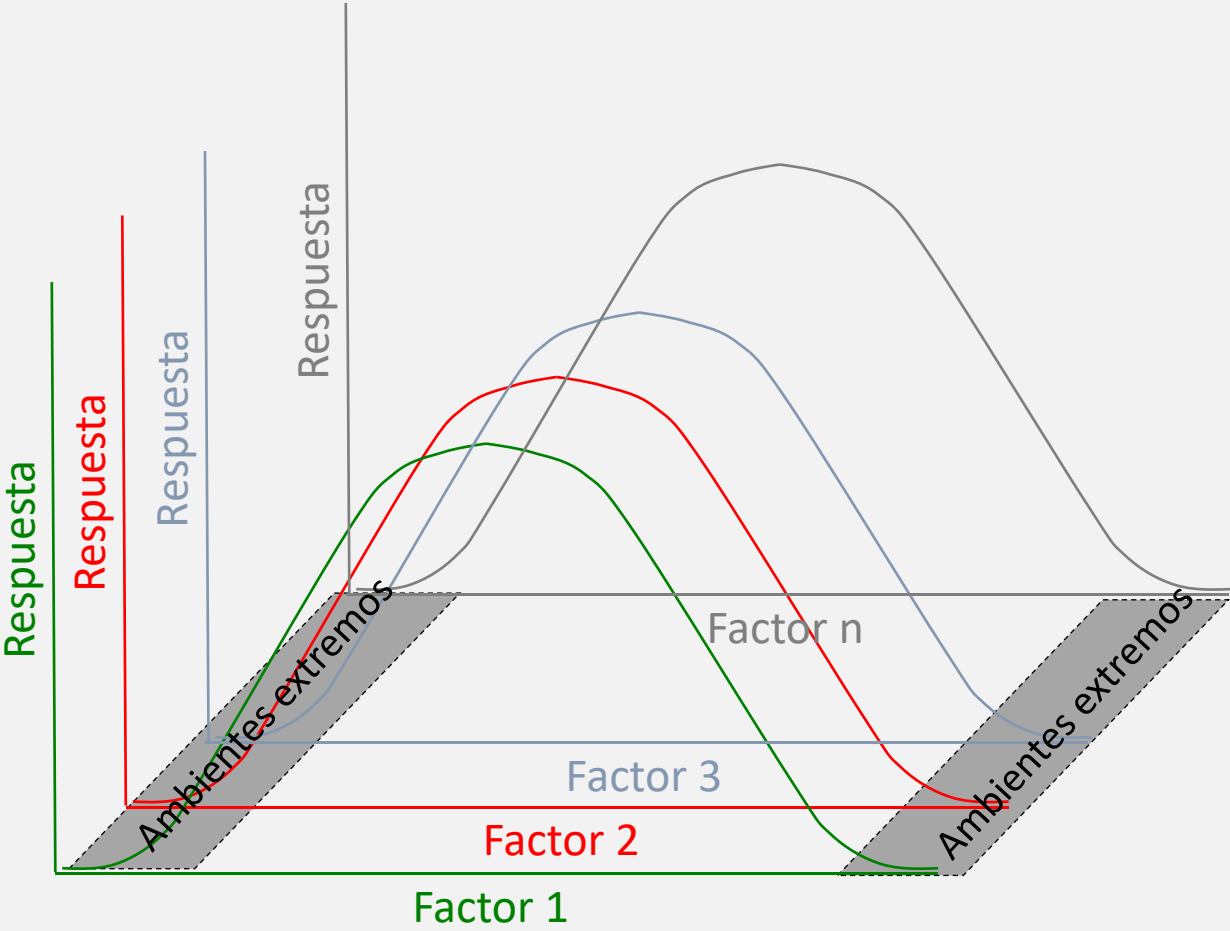
Las condiciones ambientales de ciertos ambientes y ecosistemas de la tierra están permanentemente próximas a sus valores extremos. Cuando son varios los factores ambientales que se sitúan de forma permanente en valores próximos a los límites de la vida, es cuando hablamos de “**ambientes extremos**”.



Respuesta de un proceso fisiológico a un factor ambiental cualquiera.
Imagen propia: J. I. García Plazaola

3a. ¿cuáles son los ambientes extremos de la Tierra?

Con estas características hay muchos ambientes que se pueden ajustar a la definición de “extremos”. Entre ellos destacan por su extensión los desiertos, las cumbres de las grandes cordilleras y las zonas polares. Pero los “ambientes extremos” también se encuentran en zonas climáticas más favorables. Es el caso de los afloramientos rocosos, los suelos contaminados, las zonas de alta salinidad, las fuentes termales o incluso la propia superficie de las construcciones humanas.



Definición de los ambientes extremos como aquellos ambientes en que varios factores ambientales presentan valores próximos a los límites de supervivencia de los seres vivos.
 Imagen propia: J. I. García Plazaola

3b.

Sus habitantes, ¿viven o sobreviven?

En general la cobertura vegetal de estos “ambientes extremos” es muy escasa dominada por musgos, líquenes, algas verdes y cianobacterias, que a veces constituyen las denominadas “**costras biológicas**”. Algunos de estos organismos están tan especializados que no pueden vivir fuera de estas condiciones extremas, y por tanto se les denomina “**extremófilos**”. Las plantas vasculares son más escasas, viéndose limitadas por unos requerimientos ambientales más estrictos, que constituyen una especie de “jaula” cuyos barrotes invisibles son los factores ambientales, que las plantas no pueden superar. Solo algunas especies vasculares son capaces de escapar de esta jaula invisible, siendo capaces de sobrevivir en estos ambientes.



Las plantas vasculares están “enjauladas” por los factores ambientales, solo unas pocas especies consiguen escapar.

Imagen propia: J. I. García Plazaola

3b.

Sus habitantes, ¿viven o sobreviven?

Para ello tienen que desarrollar adaptaciones fisiológicas, a veces únicas, que les permiten la existencia en estos ambientes. Estas adaptaciones excepcionales, resultado de millones de años de evolución, pueden tener un gran potencial de desarrollo biotecnológico.



Ejemplos de ambientes extremos: A) Desierto del Namib, B) Fumarolas en Nicaragua, C) Saladar en Atacama, D) Glaciares en la Antártida.

Imagen propia: J. I. García Plazaola

3c. ¿Sirve de algo estudiar/conservar estos ambientes?

Algunas de las singulares adaptaciones de los organismos extremófilos pueden tener un gran interés aplicado. Quizás hoy en día el caso más conocido de la “utilidad” del estudio de estos ambientes, es el de la bacteria *Thermus aquaticus* aislada en las fuentes termales de Yellowstone. Este hallazgo ha revolucionado la biología y la medicina a través de la técnica de la **PCR**, que se basa en la utilización de su enzima ADN polimerasa.

Otro tanto se puede decir de la técnica de edición genética denominada **CRISPR-CAS**, que en los próximos años revolucionará el mundo de la medicina y de la biotecnología vegetal y que tiene su origen en el estudio de una bacteria, *Haloferax mediterranei*, procedente de las salinas de Santa Pola.

Estos ambientes también se estudian como **análogos marcianos**, es decir lugares en que las condiciones ambientales se aproximan a los del planeta Marte, y que por tanto pueden dar pistas sobre cómo plantear la búsqueda de vida en otros planetas.



Thermus aquaticus, bacteria termófila (vive entre 50 y 80 °C) que se descubrió en el Paque Nacional de Yellowstone, y dio origen al desarrollo de la conocida técnica de la PCR.

Imagen: [Dominio público](#)

Lista de verificación

¿he alcanzado los resultados de aprendizaje?

Mediante el líquen geógrafo se ha abordado el tema de la fotoprotección, la simbiosis en el mundo vegetal y los ambientes extremos. Comprueba la siguiente lista de verificación. Si eres capaz de contestar a las preguntas puedes **comenzar con los ejercicios**. Si no eres capaz, **debes volver a repasar el temario**, antes de realizar los ejercicios propuestos.

- ✓ Clasificar los principales tipos de simbiosis vegetales (sección 1a).
- ✓ Conocer cómo es la estructura de un líquen (sección 1b).
- ✓ Saber por qué pueden ser vectores de litopanspermia (sección 1b).
- ✓ Entender en qué se basa la fotoprotección (sección 2a).
- ✓ Conocer ejemplos de compuestos secundarios protectores (sección 2b).
- ✓ Entender por qué algunos ecosistemas se consideran “extremos” (sección 3a).
- ✓ Entender la importancia de la investigación en ambientes extremos (sección 3c).

Imagen propia: J. I. García Plazaola

