



**FACULTAD DE FARMACIA  
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**Potencial de extractos de algas y líquenes  
frente a la radiación UV**

Autor/a: Aranda Gutiérrez, Coral

Tutor/a: Pintado Valverde, Ana

Convocatoria: Febrero 2018

## RESUMEN

La protección frente a la radiación UV es un factor importante en la prevención de enfermedades de la piel, cuya incidencia se ha incrementado en los últimos años, debido a la pérdida de ozono estratosférico, y como consecuencia, su capacidad protectora frente a la radiación UV, especialmente frente a la UVB. Esto, junto con los inconvenientes de los filtros solares sintéticos actuales, ha impulsado la búsqueda de nuevos fotoprotectores.

En el presente trabajo, se lleva a cabo a partir de una revisión bibliográfica y la recogida de datos sobre artículos y patentes publicados, una valoración del potencial de extractos naturales frente a la radiación UV, el interés de las algas y los líquenes como fuentes de compuestos fotoprotectores, y la posible aplicación de los aminoácidos similares a micosporinas (MAAs) como filtros UV.

**Palabras clave:** radiación UV, fotoprotección, extractos naturales, líquenes, algas, MAAs

## INTRODUCCIÓN

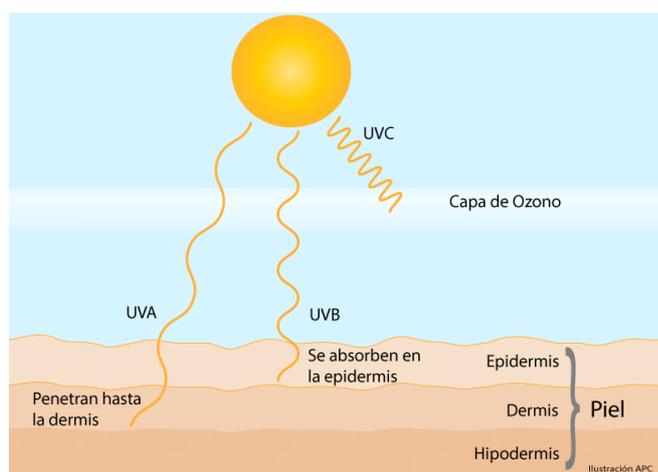
La reducción progresiva de la capa de ozono y los cambios en su permeabilidad, han contribuido a un marcado incremento en la cantidad de radiación UVB que alcanza la superficie del planeta. Esto, junto a una sobreexposición a esta radiación, ha provocado un aumento en la aparición de patologías relacionadas con la piel, como el melanoma [1, 2, 3, 4, 5, 6], cuya incidencia solo en Francia se duplica cada 10 años [3]. Debido a esto, y a la tendencia actual hacia el consumo de productos naturales y respetuosos con el medio ambiente, es de gran interés la búsqueda de nuevos compuestos fotoprotectores en organismos que presentan mecanismos de adaptación eficaces frente a la radiación UV [1, 2].

La radiación UV es parte del espectro de radiación electromagnética emitido por el sol [6], y según sus propiedades físicas y su actividad biológica, puede dividirse en tres tipos: UVC, UVB y UVA [5] (Fig. 1).

La radiación UVC (200-280 nm) está constituida por ondas cortas de alta frecuencia, extremadamente energéticas [5, 7] y mutagénicas [7], que normalmente no alcanzan la superficie de la Tierra, ya que son absorbidas prácticamente en su totalidad por la capa de ozono [5, 6, 7, 8].

La radiación UVB (280-320 nm) constituye aproximadamente el 5% del total de la radiación UV que alcanza la superficie del planeta [2, 7]. Es absorbida mayoritariamente por los queratinocitos del estrato córneo de la piel hasta una profundidad de 160-180  $\mu\text{m}$  [5] y se relaciona con daño directo e indirecto en el ADN, estrés oxidativo, envejecimiento prematuro de la piel y múltiples efectos en el sistema inmune, que pueden inducir el desarrollo de enfermedades relacionadas con la piel, incluido el melanoma [7]. Además, es capaz de producir quemaduras solares 1000 veces más rápido que la radiación UVA [2, 5].

Por último, la radiación UVA (320-400 nm) es capaz de atravesar la capa de ozono en un 90-95%, por lo que esta es la radiación UV que llega en mayor cantidad a la superficie de la Tierra [6, 7]. Así, aunque esta radiación es menos potente por fotón que la UVB, sus efectos dañinos a largo plazo pueden ser considerables, ya que su tasa de flujo es mayor que la de UVB [9]. La radiación UVA es capaz de penetrar hasta aproximadamente 1 mm, alcanzando la dermis [5, 7] y promoviendo la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS), que favorecen el envejecimiento de la piel, la supresión de algunas funciones inmunes [7], e incluso pueden inducir cáncer, oxidando las bases del ADN y alterando genes de supresión de tumores como el p53. Esta radiación además puede ser la primera causa de melanoma inducido por la luz del sol [10], al relacionarse con un 67% de los casos de esta enfermedad [5].

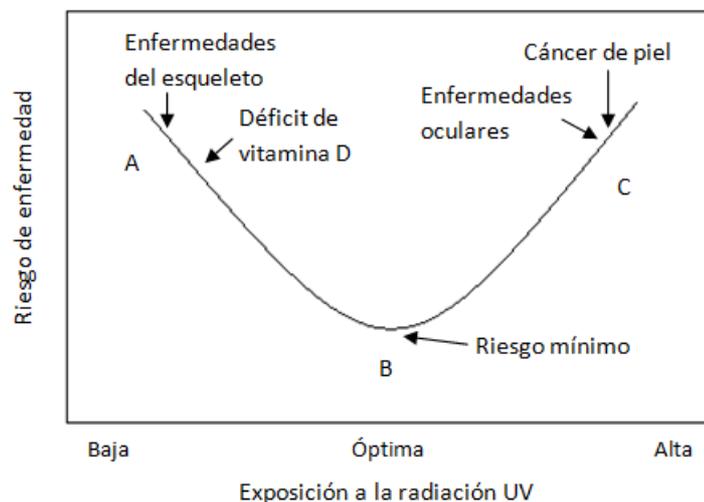


**Figura 1. Tipos de radiación UV**

A pesar de los efectos perjudiciales de la radiación UV sobre la salud, ésta también posee efectos beneficiosos, como la producción de vitamina D por la piel (Fig. 2) o la mejora

del estado de ánimo. Además, presenta aplicaciones terapéuticas sobre enfermedades como la psoriasis o la dermatitis atópica, entre otras [1, 6].

Por otro lado, el organismo humano, al igual que el de otros seres vivos, dispone de mecanismos de defensa frente a los daños potenciales de la radiación UV. Entre ellos se encuentra la producción de melanina, un pigmento capaz de absorber la radiación UV [2], y la capacidad antioxidante de diversas enzimas y sustancias de la piel, que neutralizan las ROS. Sin embargo, cuando la exposición a la radiación es lo suficientemente elevada, estas defensas se sobrepasan y aparecen daños [4, 5, 11], siendo necesaria una protección externa para prevenirlos [1, 2, 5].



**Figura 2. Diagrama esquemático de la relación entre la exposición a la radiación UV y el riesgo de enfermedad.** Los puntos A y C representan una inadecuada exposición a la radiación UV, tanto por exceso (punto C) como por defecto (punto A), lo que conlleva un riesgo de desarrollo de enfermedad mucho mayor al que se observa en el punto B, donde se representa la exposición óptima. Modificado de *Lucas et al.2006* [6].

La aplicación tópica de productos que contienen filtros solares juega un papel importante en la protección de la piel, ya que son capaces de absorber parte de la radiación UV, evitando o reduciendo así sus efectos dañinos [5, 12].

Las características que debe reunir un filtro solar son, entre otras, buena absorción en el rango de radiación UVA y UVB [12], fotoestabilidad [5, 12, 13], coeficiente de extinción elevado [13] y características sensoriales agradables [12].

Una buena fotoestabilidad es un requisito crítico [13], debido a que la capacidad de algunos filtros para absorber la radiación UV les hace vulnerables a la fotólisis, lo que genera ROS, que pueden penetrar en las capas superficiales de la epidermis e interactuar con las moléculas cutáneas, causando irritación u otras reacciones fotosensibles [5].

Un coeficiente de extinción elevado también es un requisito esencial en los filtros UV, ya que permite su uso a bajas concentraciones, reduciendo los costes y los posibles efectos adversos [13].

Finalmente, para que un protector solar sea eficaz, es importante que posea buenas características sensoriales, que estimulen su aplicación de forma regular y en cantidad suficiente por parte del usuario. Por ello, es preferible emplear filtros que no absorban la radiación en el rango visible ni reflejen la luz, para evitar la coloración y el brillo de la piel, respectivamente, lo que generaría cierto rechazo desde el punto de vista estético [12].

## **OBJETIVOS**

1. Valorar el interés del uso de extractos naturales frente a la radiación UV, respecto a los protectores solares sintéticos actuales.
2. Estudiar el potencial de algas y líquenes como fuentes de compuestos fotoprotectores.
3. Describir el interés de los aminoácidos similares a micospirinas (MAAs) como filtros UV.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

Se ha llevado a cabo una búsqueda bibliográfica de artículos científicos recientes a través de PubMed (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>). Debido al mayor número de artículos disponibles en inglés, dicha búsqueda se ha realizado a partir de palabras clave en inglés relacionadas con el tema del trabajo, como *natural sunscreens*, *UV filters*...

Los datos reflejados en las gráficas sobre patentes presentes en el apartado de resultados y discusión, han sido recogidos a través del siguiente buscador de la Oficina Europea de Patentes: <https://worldwide.espacenet.com/advancedSearch>. Para ello, se han introducido códigos CPC incluidos dentro de los grupos *Preparaciones tópicas para protección solar* (A61Q17/04) y *Preparaciones medicinales que contienen material de algas, líquenes, hongos*

o plantas (A61K36/00), y se ha realizado la búsqueda especificando el año de publicación de las patentes, de manera que se ha obtenido el número de resultados por búsqueda.

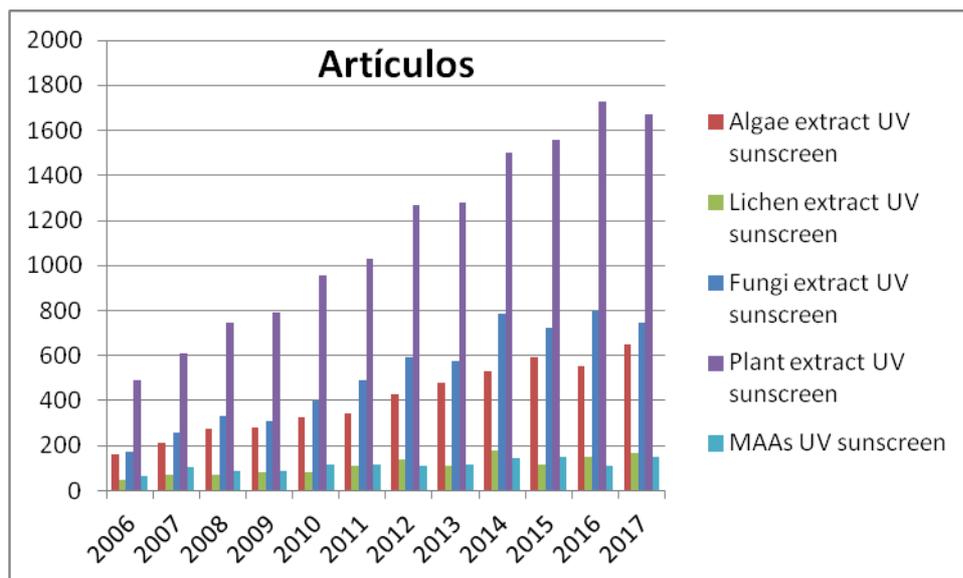
Por otro lado, la recopilación de datos para obtener el número de publicaciones en los distintos ámbitos por año, se ha llevado a cabo a partir de la opción de búsqueda avanzada de Google Académico (<https://scholar.google.es/>). Al igual que en las gráficas anteriores, se representa el número de resultados por búsqueda para cada año de publicación. Sin embargo, en este caso se han introducido los términos *Algae extract UV sunscreen*, *Lichen extract UV sunscreen*, *Fungi extract UV sunscreen*, *Plant extract UV sunscreen* y *MAAs UV sunscreen* para realizar la búsqueda.

Las gráficas han sido elaboradas con Microsoft Excel®

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **1. Interés de los extractos naturales frente a los protectores solares actuales**

El rápido aumento en la incidencia de enfermedades relacionadas con una elevada exposición a la radiación UV, como se ha indicado en la introducción, ha motivado la búsqueda de compuestos nuevos y altamente eficientes, que garanticen una protección adecuada en los años venideros [5]. Una posible fuente de estos compuestos podrían ser determinados organismos, especialmente aquellos expuestos a una intensa radiación, que han desarrollado mecanismos de adaptación, que incluyen la producción de metabolitos secundarios antioxidantes y capaces de absorber la radiación UV [2]. Así, en los últimos años se ha incrementado el número de investigaciones sobre el uso de extractos naturales como filtros UV (Fig. 3), que además ofrecen una serie de ventajas respecto a los protectores solares actuales.



**Figura 3. Número de artículos científicos publicados por año, sobre extractos de algas (en rojo), líquenes (en verde), hongos (en azul oscuro), plantas (en morado) o MAAs (en azul claro) frente a la radiación UV**

Una ventaja de muchos compuestos naturales como agentes fotoprotectores, es que junto con su capacidad de absorción de la radiación UV, poseen efectos antioxidantes y antiinflamatorios [2], que pueden abrir nuevas posibilidades de tratamiento y prevención de los daños producidos por la radiación UV [1]. Además, existe una tendencia a desarrollar protectores solares con un elevado grado de protección [2, 12]. Teniendo en cuenta que los filtros solares sintéticos poseen un límite de concentración en los productos fotoprotectores, algunos compuestos naturales se han empleado para sustituir o reducir la cantidad de estos agentes fotoprotectores sintéticos [2]. A esto hay que añadir que la industria emplea cada vez más extractos crudos como ingredientes activos para formular nuevos productos, lo que permite reducir costes (se evitan procesos de purificación para obtener compuestos puros) y facilitar el cumplimiento del reglamento REACH (Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de sustancias y mezclas químicas) [3].

Por otro lado, existe una preocupación en la Agencia Europea de Productos Químicos (ECHA) debido a los potenciales efectos adversos en la salud de las personas y los ecosistemas, de 8 de los 16 filtros solares usados de forma común en Europa. Además, el Panel de Evaluación de los Efectos Ambientales (EEAP) del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), expresa similares preocupaciones [13].

Algunos de los efectos adversos sobre la salud de las personas son hipersensibilidad por contacto, inflamación y acumulación sistémica [13]. Este último se debe a que muchos filtros son lipófilos, por lo que son capaces de bioconcentrarse y bioacumularse en la cadena trófica [1, 13], pudiendo acumularse incluso en el cuerpo de los microorganismos presentes en el agua potable [5]. Además, hay evidencia de que algunos filtros actúan como disruptores endocrinos. A esto se le suma que la mayoría de los filtros UV son, por diseño, moléculas estables no biodegradables, por lo que pueden afectar al crecimiento del fitoplancton y las algas, y provocar daños en los ecosistemas de arrecifes de coral, promoviendo infecciones virales que llevan al blanqueamiento y necrosis de los corales [13].

Por lo tanto, existe un gran interés en el uso de productos naturales como protectores solares, por su alta tolerabilidad y su bajo impacto ambiental [5, 14]. Además, en los últimos años la demanda de productos naturales y respetuosos con el medio ambiente ha aumentado, ya que la salud propia y la de los ecosistemas son aspectos que preocupan cada vez más a la población [1].

Sin embargo, a pesar de todas las ventajas señaladas, y de que existe un fuerte incremento en los últimos años del número de preparaciones medicinales a base de plantas (Fig. 4), el número de protectores solares sintéticos patentados, sigue siendo muy superior al de los protectores solares que presentan material de algas, líquenes, hongos o plantas (Fig. 5). Esto puede ser debido a que, aunque existe un gran número de extractos vegetales y moléculas obtenidas a partir de éstos que pueden ser útiles en la protección frente a la radiación UV, los diferentes métodos y estrategias de investigación empleados según el estudio, hacen difícil valorar su verdadero potencial [1], a lo que se le añade, que las investigaciones realizadas con extractos, no son lo suficientemente informativas, debido a las variaciones en su composición y a los efectos sinérgicos entre los distintos constituyentes [5].

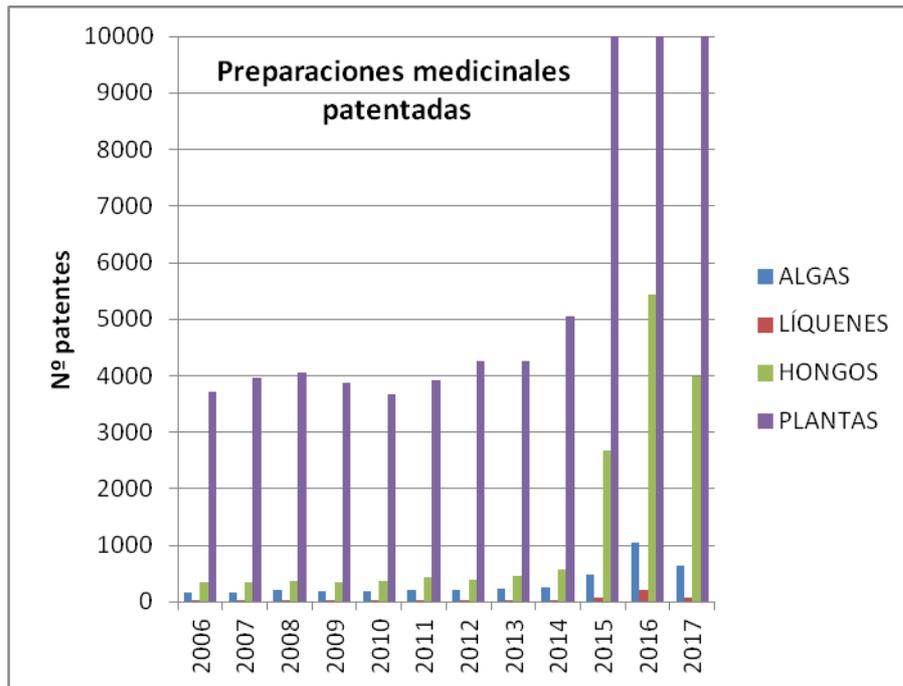


Figura 4. Número de patentes publicadas por año, sobre preparaciones medicinales que contienen material de algas (azul), líquenes (rojo), hongos (verde) o plantas (morado)

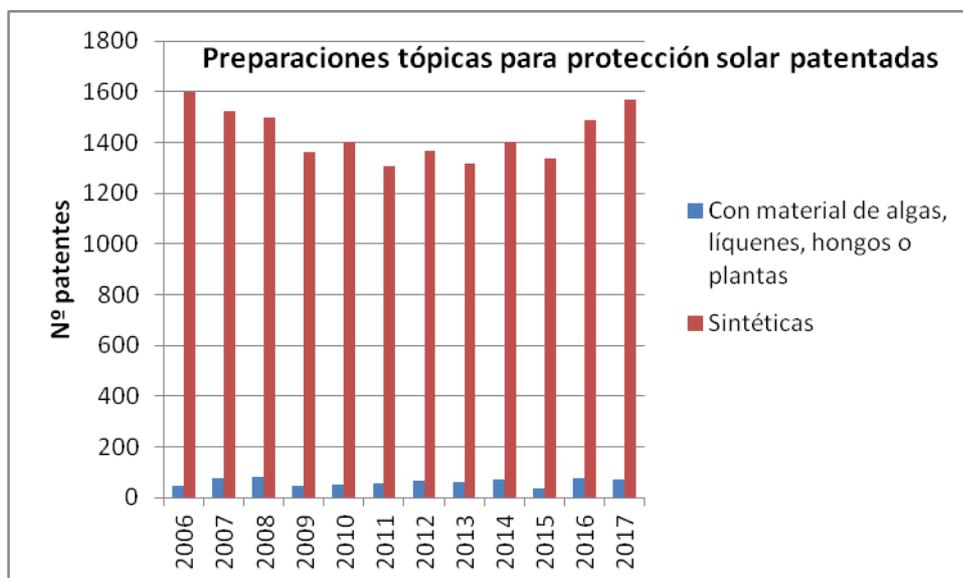


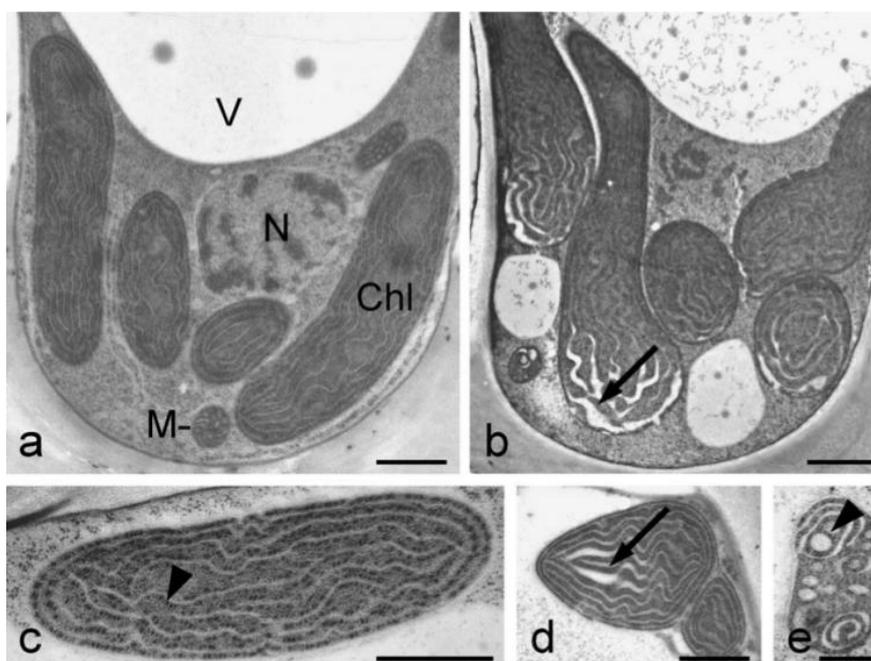
Figura 5. Número de patentes publicadas por año, sobre preparaciones tópicas para protección solar

## 2. Potencial de algas y líquenes como fuentes de compuestos fotoprotectores

Como se ha señalado anteriormente, existen organismos que producen metabolitos secundarios capaces de absorber la radiación UV, por lo que han sido objeto de múltiples investigaciones. Entre estos organismos, se encuentran las algas y los líquenes.

Considerando que al comienzo de la evolución de la vida en la Tierra, la tasa de flujo de radiación UVB era mucho mayor a la actual [9], y que en el futuro esta tasa se incrementará debido a la pérdida de ozono estratosférico [8], el estudio de los organismos que vivieron bajo condiciones de elevada radiación UV y que presentan mecanismos de adaptación, como las algas y los líquenes, es de gran interés [8, 9].

Además, existe una variación natural en los niveles de radiación UV según la altitud, latitud, estación del año [9], y otros factores [8], por lo que tanto algas como líquenes, que son capaces de vivir en una amplia variedad de hábitats, han desarrollado mecanismos de adaptación a esta radiación [8, 9], que puede producir alteraciones en las estructuras celulares (Fig. 6) y cambios en la expresión de genes que codifican proteínas relacionadas con la biosíntesis de pigmentos protectores y la reparación del ADN, y enzimas antioxidantes, así como de genes que regulan la fotosíntesis, el ciclo celular y el estrés [8].

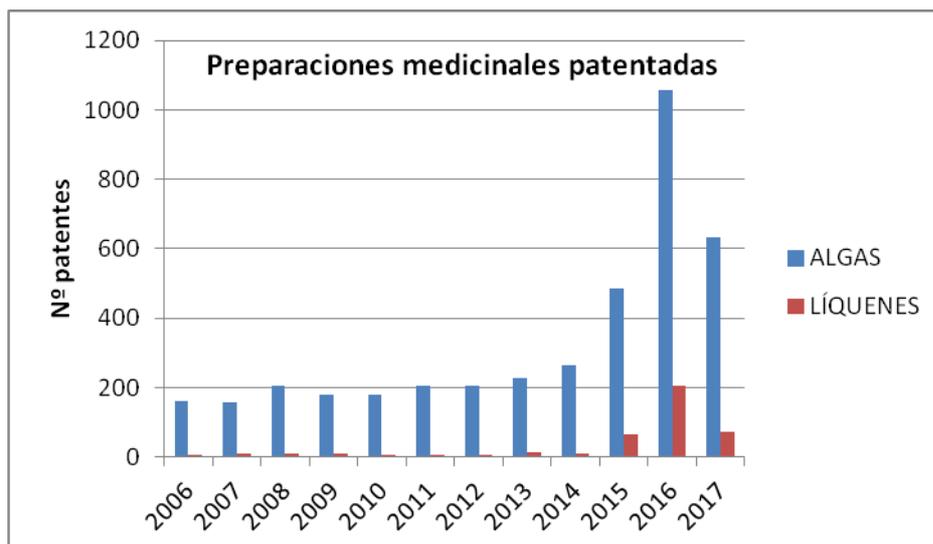


**Figura 6.** Vista al microscopio de componentes celulares del alga *Palmaria decipiens*. (a) Célula control con cloroplastos (Chl), núcleo (N), vacuola (V) y mitocondria (M); (b) célula después de 8 horas de radiación UV, con dilataciones visibles de los tilacoides (flecha); (c) cloroplasto control; (d) cloroplasto irradiado durante 4 h, comienzo de las dilataciones (flecha); (e) mitocondria irradiada durante 8 horas, con crestas hinchadas, visibles como sacos (flecha). Escala a-d 1  $\mu\text{m}$ , escala e 0,5  $\mu\text{m}$  [8].

Las algas marinas producen una gran variedad de metabolitos secundarios con distintas estructuras y actividades biológicas, y han sido reconocidas como una de las mayores fuentes de moléculas bioactivas con un significado valor medicinal y nutricional. Además, el número de compuestos fotoprotectores presentes en las algas, es elevado en comparación con el de otras fuentes marinas. Así, algunos productos farmacéuticos derivados de algas se encuentran en desarrollo comercial (Fig. 7), ya que los avances en la biología molecular y las tecnologías de cultivo están facilitando la explotación de los medios marinos como fuente potencial de filtros solares naturales [11].

Por su parte, los líquenes son organismos simbióticos, generalmente formados por un micobionte (hongo) y uno o más fotobiontes (alga o cianobacteria) [17]. Son además los primeros colonizadores de los hábitats terrestres y se encuentran distribuidos por todo el planeta [2, 4], incluyendo regiones donde la radiación UV es especialmente intensa, como las regiones polares o zonas de elevada altitud [2, 3]. Su capacidad de supervivencia bajo elevados niveles de radiación UV es tal, que son capaces de soportar las condiciones de alta intensidad de radiación de longitud de onda corta del espacio exterior [16]. Para hacer frente a las condiciones de estos ambientes extremos, los líquenes sintetizan pigmentos con capacidad antioxidante y fuerte absorción en la región UV [3]. Además, como resultado de la simbiosis, los líquenes producen metabolitos secundarios característicos y compuestos bioactivos, que raramente se encuentran en otros organismos [17], y que comprenden compuestos alifáticos, cicloalifáticos, aromáticos y terpenos, similares a los de las plantas superiores [1, 11]. Esto, junto con el hecho de que son una fuente poco explorada de compuestos biológicamente activos [3], y que de ellos se han obtenido más de 800 nuevas sustancias [1, 11], ha convertido a los líquenes en una fuente interesante para la búsqueda de nuevos filtros UV [3].

A pesar de la evidencia científica existente sobre la actividad biológica de los extractos liquénicos, su incorporación a la industria farmacéutica se ha visto frenada por el lento crecimiento de los líquenes en la naturaleza y las dificultades de su cultivo de forma artificial. Sin embargo, teniendo en cuenta que los metabolitos secundarios del líquen son producidos principalmente por el micobionte, el cultivo aislado de hongos liquénicos podría solventar este problema, ya que pueden cultivarse en medios líquidos y semilíquidos, y crecen y producen metabolitos de forma más rápida que el líquen [17].



**Figura 7. Número de patentes publicadas por año, sobre preparaciones medicinales que contienen material de algas y líquenes (detalle de la figura 4).** Se aprecia un incremento en los últimos años, especialmente en el 2016 de ambos tipos de preparaciones.

### 3. Aminoácidos similares a micosporinas (MAAs) como filtros UV

Los aminoácidos similares a micosporinas (MAAs) pertenecen a una familia de metabolitos secundarios producidos por una amplia variedad de organismos (como algunas algas y líquenes anteriormente mencionados) para protegerse de la radiación solar, especialmente aquellos que habitan en ecosistemas con elevados niveles de insolación [5]. Se sabe que la presencia de MAAs como filtros UV se remonta al eón Arcaico, donde la intensidad de la radiación UV era mayor a la actual [9], hecho que se apoya en la detección de MAAs en fósiles [5].

Los MAAs constituyen uno de los compuestos más efectivos que existen en la naturaleza, en la absorción de radiación UVA [5]. Son sustancias solubles en agua y con picos de absorbancia entre 310 y 360 nm. También son antioxidantes y participan en la regulación osmótica [5, 18], pero su función más importante es la fotoprotección, ya que son capaces de absorber la energía de la radiación UV y disiparla en forma de calor, sin generar reacciones fotoquímicas [5, 13, 19].

La estructura de los MAAs se basa en un anillo de ciclohexenona o ciclohexenimina (grupo cromóforo) con un sustituyente nitrogenado (Fig. 8) [5, 13]. Los que presentan un anillo de ciclohexenona, tienen una absorción máxima en la región UVB, mientras que para

los que poseen un anillo de ciclohexenimina, su máximo de absorción se encuentra en la región UVA [5].

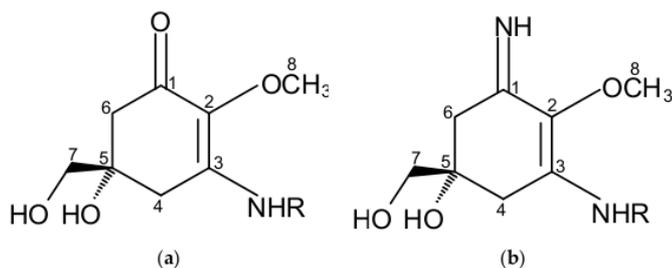
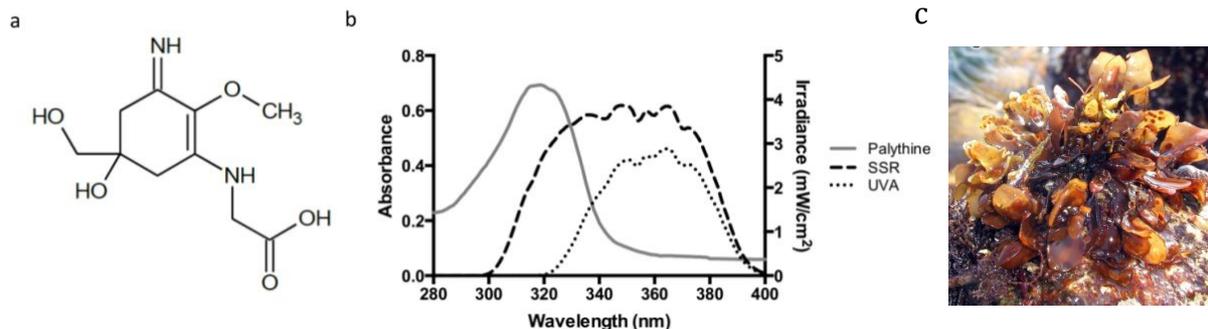


Figura 8. (a) Anillo de aminociclohexenona y (b) anillo de aminociclohexenimina [5]

Otra de las ventajas de los MAAs es que no absorben la radiación solar visible (400-700 nm), lo que les hace incoloros, y por lo tanto, estéticamente adecuados para formulaciones tópicas [12]. Además, poseen elevados coeficientes de extinción molar, son antioxidantes [5], sus estructuras son fotoquímicamente estables [19] y son resistentes al estrés abiótico, lo que los hace buenos candidatos como compuestos fotoprotectores [5].

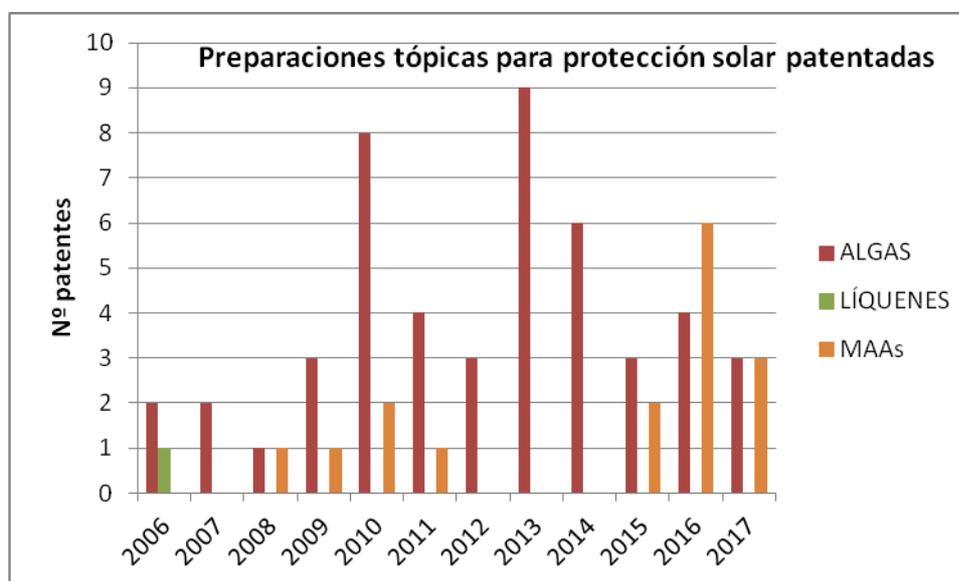
Su producción a larga escala puede llevarse a cabo empleando diversos métodos, como la ingeniería genética en levaduras, que permite sintetizar de forma eficiente moléculas naturales de pequeño tamaño, o la producción extensiva empleando un sistema de acuicultura multitrófica integrada (IMTA) para el cultivo de algas, que es más sostenible que la acuicultura tradicional. Además, *Andreguetti et al.* (2013) ha desarrollado un procedimiento de síntesis de 9 MAAs diferentes, altamente eficiente, fácil de usar y respetuoso con el medio ambiente [5].

Existe un estudio muy reciente, publicado en el año 2017, en el que se determina el potencial fotoprotector de la palitina, un aminoácido similar a micosporina. Este compuesto se extrajo del alga roja *Chondrus yendoi* Yamada & Mikomi y se diluyó a distintas concentraciones, para estudiar su espectro de absorción (Fig. 9), su capacidad antioxidante y su efecto sobre los queratinocitos humanos, entre otras características, obteniéndose como resultado una protección estadísticamente significativa frente a la radiación UV a concentraciones muy bajas (0,3% m/v), buena fotoestabilidad, y una potente capacidad antioxidante. Por lo tanto, la palitina, una molécula que ha demostrado una elevada capacidad fotoprotectora *in vitro*, constituye un ejemplo de posible alternativa natural y biocompatible frente a los filtros UV sintéticos [13].



**Figura 9.** (a) Estructura química y (b) espectro de absorción de la palitina (línea continua), con buena absorbancia en el rango del UVA corto (320-340 nm) y del UVB (pico de absorbancia a los 320nm), espectro de radiación solar simulada (SSR) (línea discontinua), y espectro de radiación UVA (línea punteada) [13]. (c) *Chondrus yendoi* (imagen extraída de [www.algaebase.org](http://www.algaebase.org))

El potencial de los MAAs como filtros UV debido a su actividad fotoprotectora y antioxidante se muestra en diversos artículos (Fig. 3), como el anteriormente mencionado, y en algunas patentes (Fig. 10) y productos comercializados, que incluyen MAAs en su composición. Como se puede observar, el número de estas patentes ha aumentado en los últimos años.



**Figura 10.** Número de patentes publicadas por año, sobre preparaciones tópicas para protección solar, que presentan material de algas, líquenes o MAAs en su composición

## CONCLUSIONES

En los últimos años el número de artículos científicos sobre el potencial de extractos de algas, líquenes, hongos y plantas como fuentes de filtros UV ha aumentado de forma gradual, ya que ofrecen una buena alternativa a los filtros UV sintéticos actuales, los cuales producen efectos adversos tanto en la salud de las personas como en la de los ecosistemas. Además, estos extractos presentan propiedades antioxidantes adicionales, que son de gran interés, ya que evitan o disminuyen la generación de ROS como consecuencia de una elevada exposición a la radiación UV.

Una posible fuente de estos filtros, son organismos que generan metabolitos secundarios en la naturaleza como mecanismo de defensa frente a los daños que la radiación UV les puede ocasionar, especialmente en sus estructuras celulares y procesos relacionados con la fotosíntesis. Las algas y los líquenes son un ejemplo de gran interés, ya que son organismos extremotolerantes capaces de soportar altos niveles de radiación, de estrés hídrico y de sintetizar una gran cantidad de compuestos bioactivos. Entre estos compuestos, se encuentran los MAAs, que poseen una buena capacidad de absorción de la radiación UV y propiedades antioxidantes, entre otras características, que permitirían su uso como filtros solares. Esto se demuestra por el aumento de patentes de preparaciones tópicas con MAAs en los últimos años.

Sin embargo, a pesar del potencial que muestran los filtros UV obtenidos de fuentes naturales, el número de fotoprotectores sintéticos patentados y comercializados sigue siendo muy superior, ya que se necesitan estudios para obtener más información sobre los efectos *in vivo* de estos compuestos naturales, que permitirían una protección eficaz y segura frente a la radiación UV, minimizando al mismo tiempo su impacto en los ecosistemas.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Radice, M., Manfredini, S., Ziosi, P., Dissette, V., Buso, P., Fallacara, A., Vertuani, S. (2016) Herbal extracts, lichens and biomolecules as natural photo-protection alternatives to synthetic UV filters. A systematic review. *Fitoterapia*; 114: 144-162.

[2] Saewan, N., Jimtaisong, A. (2015) Natural products as photoprotection. *Journal of Cosmetic Dermatology*; 14: 47-63.

[3] Lohèzic-Le Dèvèhat, F., Legouin, B., Couteau, C., Boustie, J., Coiffard, L. Lichenic extracts and metabolites as UV filters (2013) *Journal of Photochemistry and Photobiology: Biology*; 120: 17-28.

[4] Russo, A., Piovano, M., Lombardo, L., Garbarino, J., Cardile, V. (2008) Lichen metabolites prevent UV light and nitric oxide-mediated plasmid DNA damage and induce apoptosis in human melanoma cells. *Life Sciences*; 83: 468–474.

[5] Chrapusta, E., Kaminski, A., Duchnik, K., Bober, B., Adamski, M., Bialczyk, J. (2017) Mycosporine-Like Amino Acids: Potential Health and Beauty Ingredients. *Marine Drugs*, 15(10), 326.

[6] Lucas, R., McMichael, T., Smith, W., Armstrong, B. (2006) Solar ultraviolet radiation: global burden of disease from solar ultraviolet radiation. *Environmental Burden of Disease Series*, No. 13. World Health Organization.

[7] Nichols, J.A. & Katiyar, S.K. (2010) Skin photoprotection by natural polyphenols: Anti-inflammatory, anti-oxidant and DNA repair mechanisms. *Arch Dermatol Res.*; 302(2): 71.

[8] Holzinger, A., Lütz, C. (2006) Algae and UV irradiation: Effects on ultrastructure and related metabolic functions. *Micron*; 37: 190-207.

[9] Rozema, J., Björn, L.O., Bornman, J.F., Gaberšček, A., Häder, D.-P., Trošt, T., Germ, M., Klisch, M., Gröniger, A., Sinha, R.P., Lebert, M., He, Y.-Y., Buffoni-Hall, R., N.V.J. de Nakker, J. van de Staaij, Meijkamp, B.B. (2002) The role of UVB radiation in aquatic and terrestrial ecosystems—an experimental and functional analysis of the evolution of UV-absorbing compounds. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*; 66: 2-12.

[10] Millot, M., Di Meo, F., Tomasi, S., Boustie, J., Trouillas, P. (2012) Photoprotective capacities of lichen metabolites: A joint theoretical and experimental study. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*; 111: 17-26.

[11] Pallela, R., Na-Young, Y., Kim, S. (2010) Anti-photoaging and Photoprotective Compounds Derived from Marine Organisms. *Mar. Drugs*, 8: 1189-1202.

[12] Osterwalder, U., Sohn, M., & Herzog, B. (2014) Global state of sunscreens. *Photodermatology, Photoimmunology & Phtomedicine*; 30: 62-80.

[13] Lawrence, K.P., Gacesa, R., Long, P.F., Young, A.R. (2017) Molecular photoprotection of human keratinocytes in vitro by the naturally occurring mycosporine-like amino acid (MAA) palythine. doi: 10.1111/bjd.16125.

[14] Stevanato, R., Bertelle, M., Fabris, S. (2014) Photoprotective characteristics of natural antioxidant polyphenols. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*; 69: 71–77.

[15] Hupel, M., Poupart, N., Ar Gall, E., (2011) Development of a new in vitro method to evaluate the photoprotective sunscreen activity of plant extracts against high UV-B radiation. *Talanta*; 86: 362–371.

[16] Sancho, L. G., De la Torre, R., Horneck, G., Ascaso, C., de los Rios, A., Pintado, A., Wierzschos, J. & Schuster, M. (2007). Lichens survive in space: results from the 2005 LICHENS experiment. *Astrobiology*, 7(3), 443-454.

[17] Zambare, V.P. & Christopher, L.P. (2012) Biopharmaceutical potential of lichens. *Pharmaceutical Biology*, 50(6): 778-798.

[18] Holzinger, A. & Pichrtová, M. (2016) Abiotic Stress Tolerance of Charophyte Green Algae: New Challenges for Omics Techniques. *Frontiers in Plant Science*, 7:678.

[19] Karsten, U. & Holzinger, A. (2014) Green algae in alpine biological soil crust communities: acclimation strategies against ultraviolet radiation and dehydration. *Biodivers Conserv*, 23:1845–1858.