



**FACULTAD DE FARMACIA  
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**TÍTULO:**

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

Autor: Ana Risoto Roldán

Tutor: Ana Pintado Valverde

Convocatoria: Junio 2018

<b>1. RESUMEN .....</b>	<b>3</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Radiación ultravioleta: qué es y por qué es importante protegerse frente a ella . 3</b>	
Figura 1: Clasificación de la radiación ultravioleta y su penetración en la piel humana.	
Modificado de: (Pérez-Sánchez et al. 2018).....	4
<b>2.2 Creciente necesidad de productos naturales biosostenibles .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3 Extractos de algas marinas como fotoprotección .....</b>	<b>6</b>
Figura 2: Taxones de algas según su pigmentación morfológica.....	7
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>8</b>
<b>4. MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>8</b>
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>9</b>
Figura 3. Síntesis de moléculas pantalla y antioxidantes por organismos marinos. ....	10
<b>5.1 Macroalgas y aminoácidos tipo micosporina (MAAs).....</b>	<b>10</b>
5.1.1 Estructura de MAAs .....	10
Figura 4. Estructuras químicas de los MAAs. (Adones & Díaz, 2017).....	11
Figura 5. Estructura química y máximo de absorción de los 23 MAAs identificados en organismos marinos. (Korbee et al., 2006).....	11
5.1.2 Biosíntesis de MAAs .....	12
Figura 6. Ruta biosintética de los MAAs a partir de un intermediario de la ruta del ácido shikímico.....	12
5.1.3 Funciones de los MAAs.....	12
5.1.4 Biotecnología de MAAs.....	13
<b>5.2 Microalgas .....</b>	<b>14</b>
5.2.1 Microalgas y fotoprotección.....	14
5.2.2 Microalgas y biotecnología.....	15
Figura 7. Floración de algas en el condado de Chautauqua, Nueva York. ....	15
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>16</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>17</b>

## 1. RESUMEN

---

Uno de los factores de riesgo al que nuestra piel está expuesta de forma continua, y muchas veces sufriendo una sobreexposición, es a la radiación UV. Por ello, hasta ahora se han patentado una amplia gama de fotoprotectores químicos frente a radiación UVA principalmente, que tras su uso generalizado están causando problemas como fotoalergias o medioambientales. Con el fin de solventar estas complicaciones se están desarrollando fotoprotectores naturales y biosostenibles, con una protección óptima frente a UVA y UVB, siendo los extractos de algas marinas de gran interés en este campo pues contienen compuestos bioactivos, los MAAs, con un gran potencial además de cómo fotoprotector como antioxidante. Por ello, macroalgas y microalgas están en manos de la biotecnología actual, con el fin de obtener métodos de explotación y producción biosostenibles. En esta revisión bibliográfica se estudia el estado actual de la biotecnología aplicada a la explotación de las algas como fuente de compuestos fotoprotectores y su proyección de futuro, obteniendo resultados muy prometedores dada su elevada potencialidad.

**Palabras clave:** MAAs, fotoprotección, radiación UV, biotecnología algal

## 2. INTRODUCCIÓN

---

### 2.1 Radiación ultravioleta: qué es y por qué es importante protegerse frente a ella

---

El nivel de radiación ultravioleta (UV) que llega a la superficie terrestre ha aumentado dramáticamente en los últimos años debido a disminución y cambios de permeabilidad de la capa de ozono (UNEP, 2010). Si a este hecho sumamos el incremento de la sobreexposición humana en los últimos años a la radiación solar, resulta obvia la importancia actual de la fotoprotección. La radiación ultravioleta (UV) se define como la energía electromagnética emitida a longitudes de onda menores que la correspondiente a la visible por el ojo humano, pero mayor que la que caracteriza a los rayos X, entre 100 y 400 nm. (Erickson et al., 2015; Wang et al., 2017)

Dependiendo de la longitud de onda, la radiación UV se puede clasificar en tres categorías (Figura 1). La radiación UVA o de longitud de onda larga (315-400 nm) no es

absorbida por la capa de ozono y constituye un 90% de la radiación total que llega a la superficie terrestre (Wang et al. 2017). Los rayos UVA son conocidos también como “aging rays”, capaces de atravesar la dermis y no solo inducir la aparición de arrugas, sino que también están asociados al desarrollo de patologías de la piel y formación de especies ROS. (Saewan & Jimtaisong, 2015). La piel es capaz de acumular esta radiación durante un periodo de tiempo determinado pero la exposición constante, desencadenará dichos problemas. (Wang et al., 2017) La radiación UVB o de longitud de onda media (280-315 nm) es parcialmente absorbida por la capa de ozono representando tan solo un 4-5% de la radiación UV total que alcanza la superficie terrestre (UNEP, 2010; Wang et al., 2017). La radiación UVB es más carcinogénica, sus rayos llamados “burning rays”, son absorbidos en la epidermis y son los principales causantes de las quemaduras solares, causando eritema, hinchazón, lesiones en la piel o incluso ampollas. (Saewan & Jimtaisong, 2015; Wang et al., 2017; Young et al., 2017). En último lugar, la radiación UVC o de longitud de onda corta (100-280 nm) es de mayor energía pero es completamente absorbida por el oxígeno y el ozono de la atmósfera. (Saewan & Jimtaisong, 2015; UNEP, 2010; Wang et al. 2017)

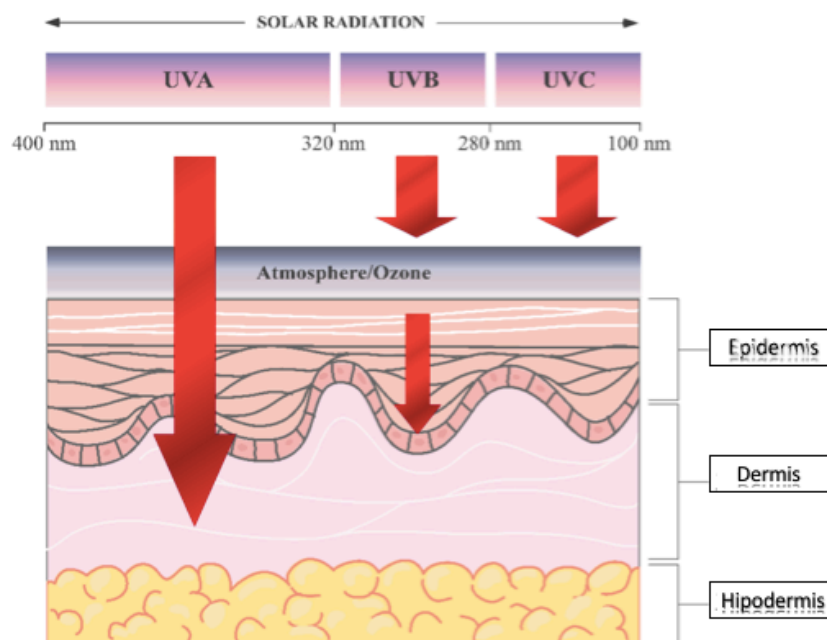


Figura 1: Clasificación de la radiación ultravioleta y su penetración en la piel humana. Modificado de: (Pérez-Sánchez et al. 2018)

Por tanto, debemos ser conscientes de que una continua exposición a radiación UV, además de envejecimiento y problemas estéticos puede tener graves consecuencias como quemaduras solares, hiperpigmentación o cáncer de piel (D’Orazio et al., 2013; Wang et al., 2017). En este contexto, cabe destacar el agravante de que debido a la reducción del ozono estratosférico, la intensidad de esta radiación que llega a la superficie terrestre y a los sistemas acuáticos se encuentra en progresivo aumento. Al dejar de ser nuestra barrera protectora, la radiación UVB llega a la superficie terrestre causando graves problemas de salud. La radiación UVB es fuertemente absorbida por los ácidos nucleicos y proteínas, produciendo cambios conformacionales que pueden afectar posteriormente funciones vitales tales como la síntesis del ADN, inhibiendo el sistema inmunitario o causando trastornos de la vista. (Erickson III et al., 2015; Korbee et al. 2006; Young et al., 2017)

## 2.2 Creciente necesidad de productos naturales biosostenibles

---

La administración tópica de filtros solares puede proteger a la piel de los efectos nocivos de la radiación UV mediante la absorción o reflexión de la radiación. Estos filtros se pueden dividir en dos grandes grupos: orgánicos e inorgánicos. Los fotoprotectores orgánicos, normalmente compuestos aromáticos con un grupo carbonilo, son capaces de absorber la radiación UV y transformarla en una radiación inocua para la piel. Estos son los más comunes y presentan ciertas limitaciones a la hora de su síntesis así como en su uso como fotoprotector, ya que existen concentraciones limitadas para la fórmula. (Saewan & Jimtaisong, 2015)

El uso generalizado de filtros solares se ha potenciado en los últimos 20 años ya que existe un mayor grado de conciencia en la población sobre el efecto carcinógeno y sobre el fotoenvejecimiento de la radiación UV. En consecuencia, las reacciones alérgicas a dichos protectores también se han vuelto cada vez más comunes. El tipo de reacción alérgica reportada ha sido la dermatitis de contacto fotoalérgica, una reacción de hipersensibilidad mediada por células T en respuesta a un fotoalergeno, desarrollada en una persona sensibilizada a la misma sustancia previamente, o a través de una reacción cruzada (Scheuer & Warshaw, 2006). También se ha documentado la actividad estrogénica *in vitro* e *in vivo* en ratones del octyl-metoxicinamato (OMC), uno de los componentes activos más empleado como fotoprotector. (Laszlo et al. 2003). Por otro lado, los filtros solares inorgánicos o filtros físicos están compuestos por pequeñas

partículas inertes capaces de reflejar y dispersar todas las radiaciones solares (UV, visible e infrarrojo) que, generalmente, no provocan fotoalergias (Wang et al., 2017). Sin embargo, presentan como inconveniente que, a concentraciones muy bajas, forman una máscara blanca antiestética para el consumidor. (Laszlo et al. 2003; Scheuer & Warshaw, 2006). Además, los filtros solares sintéticos pueden resultar una amenaza ecológica, principalmente en sistemas acuáticos ya que, al igual que otros productos químicos, son bioacumulativos y biopersistentes. Esto ha provocado que en lugares frecuentados por bañistas existan unos altos niveles de ingredientes activos de protección solar (Laszlo et al., 2003).

En la actualidad existe una tendencia general al uso de fotoprotectores solares con alta capacidad fotoprotectora pero que contengan bajas concentraciones de filtros solares sintéticos (Saewan & Jimtaisong, 2015). Por ello, en la industria está surgiendo un fuerte desarrollo en la exploración de nuevos compuestos activos con efectos reales sobre la salud a base de productos naturales y ecológicos (Laszlo et al., 2003).

### 2.3 Extractos de algas marinas como fotoprotección

En paralelo al desarrollo industrial en la búsqueda de productos naturales sustitutivos a productos sintéticos, se han realizado estudios para evaluar el potencial de aplicación de compuestos bioactivos derivados de biomásas de algas en alimentos funcionales, suplementos dietéticos, cosmética y farmacia (Wang et al., 2017) así como de las técnicas para mejorar la producción de dichos metabolitos. En la actualidad se está generalizando el uso de compuestos funcionales provenientes de algas marinas como complementos dietéticos beneficiosos para la salud. Por el contrario, la aplicación de metabolitos derivados de algas en la piel ha recibido mucha menos atención a pesar de que poseen un elevado potencial por sus propiedades antiinfecciosas, antiinflamatorias, antienvjecimiento y en la prevención de patologías cancerígenas de la piel. (Ariede et al., 2017).

Las algas marinas son organismos eucarióticos fotosintéticos que se pueden encontrar profusamente en las zonas costeras. Constituyen un grupo polifilético y evolutivamente se pueden clasificar en dos categorías principales: los grupos cuyos cloroplastos proceden de la endosimbiosis primaria de una cianobacteria, que constituyen la línea Archaeplastida o Primoplantae, y los restantes grupos que obtuvieron sus

cloroplastos secundariamente a través de la endosimbiosis de una Primoplantae. De manera general, las macroalgas marinas, dependiendo del tipo de pigmentos que poseen se pueden incluir en tres taxones (Figura 2):



- *Rhodophyta* o algas rojas (ficoeritrina)
- *Chlorophyta* o algas verdes (clorofila)
- *Phaeophyceae* o algas pardas (fucoxantina)

Figura 2: Taxones de algas según su pigmentación morfológica

Diversos factores ambientales tales como la temperatura, la salinidad, la luz solar o la concentración de CO<sub>2</sub> en el medio pueden influir en la composición química de las algas marinas. (Yu et al. 2015). Las macroalgas pueden sobrevivir en condiciones ambientales extremas, ya que su fisiología es capaz de cambiar promoviendo su adaptación mediante la producción de metabolitos secundarios que les permite conquistar diferentes ambientes. Entre estos metabolitos bioactivos naturales se encuentran polisacáridos, ácidos grasos y compuestos fenólicos. Los polisacáridos desempeñan una función de almacenamiento y soporte formando parte de las paredes celulares del alga y de los cuales se ha descrito una actividad antioxidante e inmunomoduladora (Ariede et al., 2017). Entre los ácidos grasos, los cuales sirven como fuente de materia orgánica en algas heterótrofas, destacan los fosfolípidos como fosfatidilglicerol (PG), fosfatidilcolina (PC), fosfatidiletanolamina (PE), fosfatidilserina (PS), fosfatidilinositol (PI) y ácido fosfático (PA). Por último, los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios biosintéticos que no participan en el ciclo biológico del alga, con un amplio espectro de bioactividad beneficiosa como anticancerígena, antioxidante, antimicrobiana y antiinflamatoria. (Menegol et al. 2017)

La incidencia de la radiación UV sobre los sistemas acuáticos puede ejercer un efecto nocivo en el proceso fotosintético y en los componentes celulares de las algas pero también promueve mecanismos de protección y reparación frente a la radiación UV. Uno

de los principales mecanismos de protección de las algas es la biosíntesis y acumulación de moléculas como carotenoides, ficobiliproteínas, fenoles, cumarinas y aminoácidos de tipo micosporina (MAAs). Estos últimos se encuentran en diversos organismos como algas, cianobacterias, líquenes y hongos que crecen en hábitas expuestos a radiación elevada y que son capaces de disipar térmicamente la energía UV absorbida gracias a sus características fotofísicas.

### **3. OBJETIVOS**

---

1. Valorar el uso de algas como fuente de compuestos fotoprotectores frente a la creciente necesidad de productos naturales.
2. Describir el interés de los aminoácidos similares a micosporinas (MAAs) como filtros UV.
3. Estudiar los avances en biotecnología implicados en el potencial de algas marinas como fotoprotectores.

### **4. MATERIAL Y MÉTODOS**

---

Para la realización de este trabajo se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica de artículos científicos publicados en revistas o libros, recogidos en bases de datos como Pubmed, Google Académico, Medline y ScienceDirect. Los artículos consultados han sido publicados en la última década (exceptuando los referidos a antecedentes).

Las palabras clave usadas para realizar la búsqueda han sido: natural products, sunscreen, mycosporine like-amino acid, marine biotechnology, photoprotection y potential.



## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

La radiación solar es la fuente primaria de energía para la vida sobre la Tierra. La luz puede afectar a la ecofisiología de las algas ya que influye en procesos metabólicos esenciales actuando como fuente de energía en la fotosíntesis, como fuente de calor y como fuente de información (Fernandes et al., 2015). La composición espectral de la luz solar interviene en todas estas funciones. Aunque se han descrito efectos beneficiosos de la radiación UV, principalmente de la radiación UVA, como la inducción de procesos fotobiológicos (actividad fotoliasa para reparar el daño en el ADN o estimulando la actividad nitrato reductasa, ver Korbee et al., 2006), la radiación UVB presenta efectos nocivos sobre el ADN, el crecimiento, la fotosíntesis, la síntesis de pigmentos, la actividad enzimática y la producción de especies ROS (Navarro, 2015). Como desenlace a dicha agresión, la mayoría de los macrófitos que con frecuencia están expuestos a la radiación solar presentan mecanismos de reparación y protección para minimizar el daño causado por los rayos UVB (Navarro, 2015). Así, presentan mecanismos de fotorreparación de ADN (mediado por radiación visible y UVA), acumulación de sustancias antioxidantes lipo- e hidrosolubles, aumento del grosor y densidad de las paredes celulares o la biosíntesis de moléculas pantalla. Entre estas moléculas pantalla, capaces de absorber radiación UV, cabe citar la trihidroxicumarina en algas verdes, los polifenoles en algas pardas y por último, en el grupo de las rodófitas (algas rojas) una amplia gama de compuestos como carotenoides, ficobiliproteínas y aminoácidos de tipo micosporina (MAAs). Las MAAs también se han encontrado en cianobacterias, fitoplancton, líquenes, corales y otros organismos marinos (Navarro, 2015; Adones & Díaz, 2017; Korbee et al., 2006).

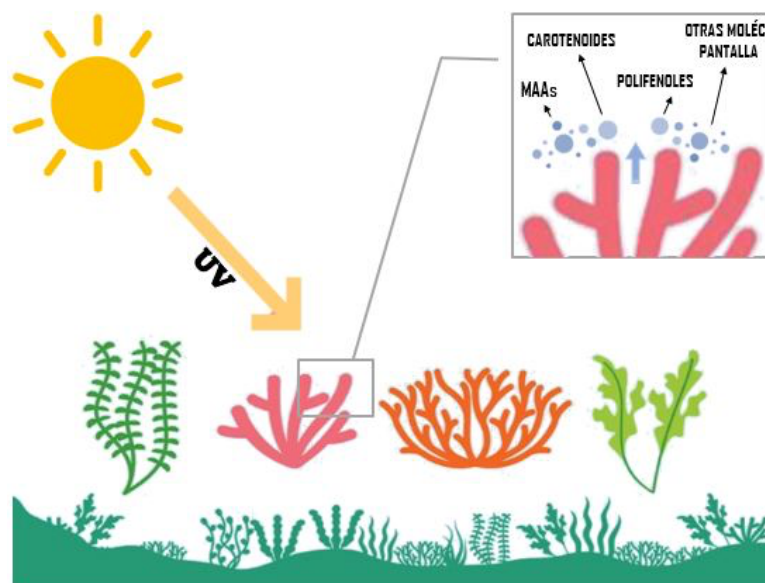


Figura 3. Síntesis de moléculas pantalla y antioxidantes por organismos marinos.

---

## 5.1 Macroalgas y aminoácidos tipo micosporina (MAAs)

---

### 5.1.1 Estructura de MAAs

---

Los aminoácidos tipo micosporina son compuestos de bajo peso molecular (<400 kD), hidrosolubles e incoloros, derivados de un anillo de aminociclohexanona o ciclohexenimina conjugado con diferentes compuestos (Hartmann et al. 2016) Los compuestos que se encuentran en hongos presentan una ciclohexanona común y los presentes en algas y organismos marinos tienen una ciclohexenimina. Esta estructura base se modifica por la presencia de sustituyentes nitrogenados (derivados amino) en el anillo, aminoácidos o sus alcoholes correspondientes (Figura 4), lo que determinará su máximo de absorción (Fernandes et al., 2015; Adones & Díaz, s. f.)

En la actualidad, se han descrito aproximadamente 23 tipos de MAAs, presentando máximos de absorción en el intervalo del UV entre los 310-360 nm en la región del UVA y UVB (Figura 5).

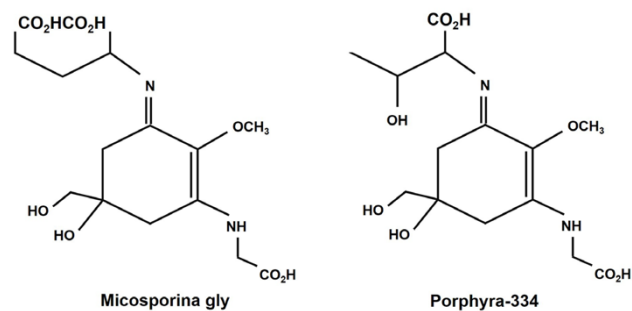


Figura 4. Estructuras químicas de los MAAs. (Adones & Díaz, 2017)

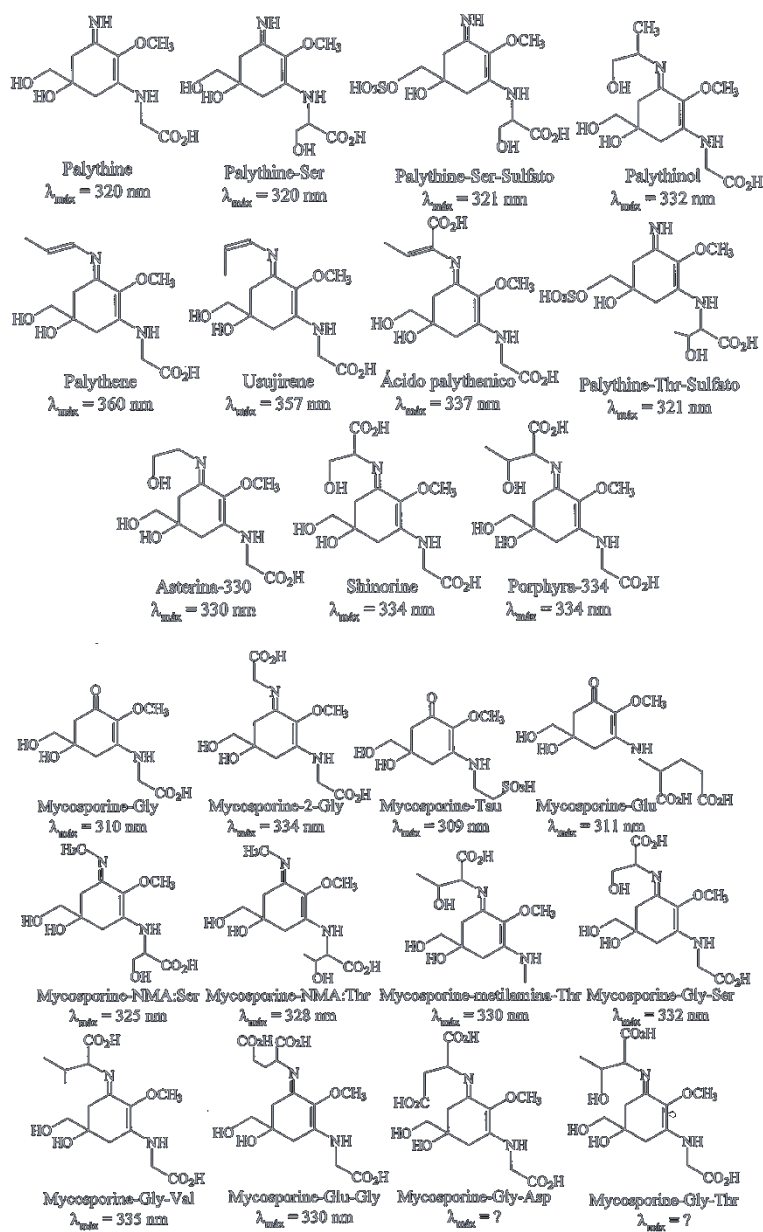


Figura 5. Estructura química y máximo de absorción de los 23 MAAs identificados en organismos marinos. (Korbee et al., 2006)

### 5.1.2 Biosíntesis de MAAs

Diversos estudios sobre la procedencia de los MAAs han demostrado que el anillo de ciclohexanona se forma a partir de un intermediario en la primera parte de la ruta del ácido shikímico, unida funcionalmente con la fotosíntesis (Figura 6). A pesar de ello, la producción de MAAs no está directamente relacionado con la asimilación de hidratos de carbono fotosintético. La regulación de su síntesis es una respuesta a diversos factores ambientales como las altas irradiancias (Wang et al., 2017). Esta ruta está presente en bacterias, hongos y plantas (incluyendo algas) por lo que la presencia de MAAs en animales habría que atribuirlo a la dieta (Korbee et al., 2006; Fernandes et al., 2015).

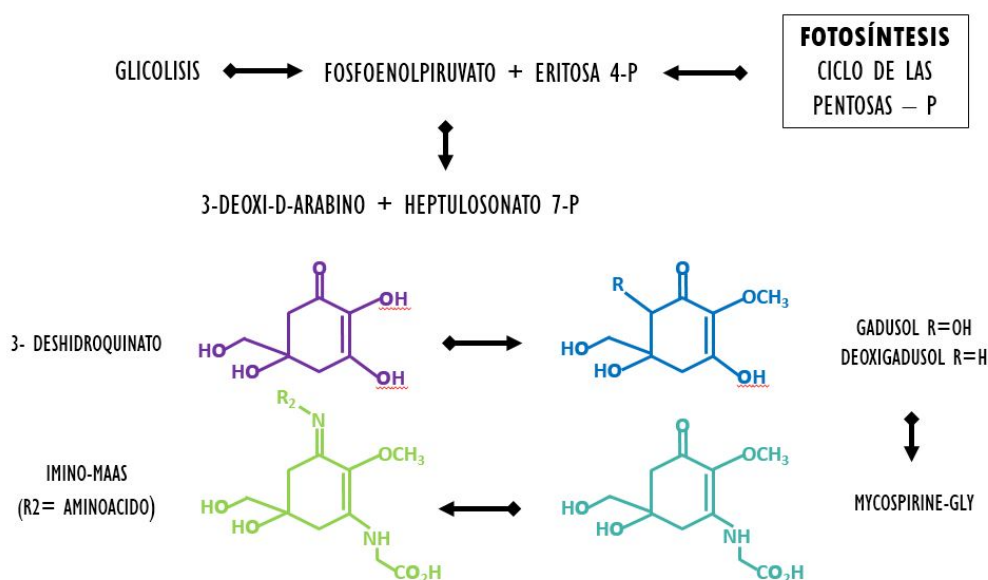


Figura 6. Ruta biosintética de los MAAs a partir de un intermediario de la ruta del ácido shikímico

### 5.1.3 Funciones de los MAAs

Los MAAs, como ya se ha mencionado anteriormente, son eficientes pantallas solares que permiten a los organismos defenderse de los efectos nocivos de la luz solar. Son compuestos capaces de absorber tanto en la región UVA como en la región UVB. Esto es posible gracias a que los aminoácidos unidos al anillo central tienen un elevado número de tautómeros de resonancia cuya extensa conjugación facilita la absorción de radiaciones

UV (Fernandes et al., 2015). El mecanismo de fotoprotección consiste en que la molécula en estado fundamental al absorber un fotón pasa a un estado excitado y se produce una rápida desactivación que disipa muy efectivamente la energía de la luz en forma de calor y no se forma intermedios durante la fotorreacción (baja emisión de fluorescencia). Después de la irradiación recupera la forma inicial, mostrando una elevada fotoestabilidad (Korbee et al., 2006; Fernandes et al. 2015; Navarro, 2015)

Además de la función fotoprotectora se han estudiado otras funciones en las que los MAAs podrían desempeñar un papel fundamental. Ejemplos son: regulación osmótica actuando como osmolitos orgánicos y solutos compatibles; implicación en procesos reproductivos; y papel de pigmento accesorio y antioxidante. Esta última propiedad ha permitido publicar patentes en las que se propone emplear los MAAs para el uso en cosméticos contra el envejecimiento prematuro de la piel, ya que es capaz de capturar radicales de oxígeno generados por estrés oxidativo y presentan capacidad para bloquear la formación de fotodímeros de timina. (Adones & Díaz, s. f.; Fernandes et al., 2015; Korbee et al., 2006; Wang et al. 2015; Wang et al., 2017)

#### 5.1.4 Biotecnología de MAAs

---

En la actualidad el factor limitante de los métodos biotecnológicos implicados en el uso de algas como fotoprotectores es la baja concentración de MAAs presente en las mismas, complicando la extracción de una biomasa suficiente. Para solventar este problema se han tomado diferentes medidas. Por un lado, se han desarrollado técnicas invasivas de cultivo de macroalgas en condiciones controladas con el fin de aumentar su producción. Por otro lado, mediante el uso de la biorefinería se han conseguido aislar dos o más compuestos aminoácidos (incluidos los MAAs) de la misma biomasa, pudiendo aprovechar ambos en diferentes líneas por un coste menor. Estos avances permitirían el uso de extractos de algas como fotoprotectores y, por lo tanto, protección también frente a la radiación UVB dado que la mayoría de los protectores solares disponibles en el mercado protegen principalmente de la radiación UVA. Es posible obtener una protección óptima frente a ambas radiaciones mediante la combinación de mycosporina-glicina con otros MAA, como shinorina o pophura-334. (Adones & Díaz, s. f.; Fernandes et al. 2015; Korbee et al., 2006; Wang et al., 2015, 2017)

La cantidad de MAAs presentes en las algas está influenciada por la cantidad de radiación que reciben en sus ambientes, siendo mayor su acumulación en algas del intermareal o en algas terrestres que en especies submareales, donde la exposición es menor (Hartmann et al., 2016) .

Siguiendo en la línea de la búsqueda de fotoprotectores naturales con su base en MAAs cabe destacar la posibilidad de producir algunos de ellos a gran escala mediante ingeniería genética en bacterias, el aislamiento de MAAs para ser utilizados en cremas fotoprotectoras ecológicas como compuestos bioactivos, postulado por Yang et al. (2018), o el alcance de una protección óptima empleando únicamente productos naturales como consiguieron Fernandes et al. (2015) mediante la conjugación de quitasato (QS) de la matriz de micosporinas con MAAs, combinación de la cual obtuvieron unos excelentes resultados: una capacidad protectora superior a la de los productos actuales, siendo eficientes frente a radiación UVA y UVB y la posibilidad de formar un compuesto multifuncional por la presencia de grupos amino libres. (Fernandes et al., 2015)

---

## 5.2 Microalgas

---

Las microalgas , al igual que las macroalgas, tienen un gran potencial como materia prima en diversas industrias tales como la cosmética, la alimentaria, la farmacéutica o la energética como biodiesel, ya que también son capaces de producir compuestos bioactivos en determinadas condiciones y esto les hace ser considerados un recurso biotecnológico de elevado potencial. (Yu et al., 2015)

---

### 5.2.1 Microalgas y fotoprotección

---

Las microalgas son consideradas un amplio grupo de microorganismos capaces de realizar la fotosíntesis oxigénica. Este grupo polifilético se encuentran en todo tipo de ambientes, pero las que resultan interesantes para la producción de fotoprotectores son las presentes en ambientes con elevada salinidad y alto nivel de radiación UV. Determinados tipos de microalgas producen metabolitos orgánicos tales como la esporopolenina, la escitonemina y aminoácidos tipo micosporina con el fin de protegerse frente de la radiación UV mientras permiten que el proceso de fotosíntesis se mantenga

intacto. (Priyadarshani & Rath, 2012) Además, son una fuente de compuestos antioxidantes (fenoles y polifenoles) generados también como mecanismo de defensa frente a factores de estrés. (Copia et al., 2012)

### 5.2.2 Microalgas y biotecnología

Al igual que en el caso de las macroalgas, el factor limitante de la explotación de las microalgas en búsqueda de la producción de fotoprotectores es la cantidad de compuestos bioactivos presentes, insuficiente a nivel industrial.

El rápido crecimiento y acumulación de poblaciones de microalgas en un sistema acuático es conocido como floración o “bloom”. La frecuencia de este fenómeno se encuentra en constante ascenso, así como el interés por sus aplicaciones (Kim et al., 2015; Liu, 2004). Las floraciones de algas podrían componer una fuente esencial de biocompuestos para la industria en paralelo a la creciente demanda de extractos de algas como explotación económica (Kim et al., 2015). Resulta obvio pensar que, al igual que ocurre con macroalgas, ante condiciones ambientales extremas como elevados niveles de radiación UV, generarán metabolitos bioactivos que les protejan y faciliten su adaptación. Es destacable que las floraciones alcanzan una concentración de MAAs mucho mayor que las alcanzadas en otras microalgas presentes de forma habitual, causando una protección eficiente y facilitando la supervivencia de algas y cianobacterias en estos afloramientos. (Hartmann et al., 2016; Liu, 2004)



Figura 7. Floración de algas en el condado de Chautauqua, Nueva York.

Por otro lado, con el fin de superar el problema de la baja productividad se ha investigado en la determinación de desencadenantes o potenciadores químicos capaces de incrementar el crecimiento celular y la acumulación de productos bioactivos de algas como se ha demostrado en la fermentación a gran escala de microalgas (Liu, 2004). Del mismo modo, se ha demostrado la capacidad antioxidante de microalgas mediante la producción de polifenoles (Copia et al., 2012). En este trabajo se expusieron cultivos de *Chlorella* sp. a una radiación UVB controlada en períodos de tiempo ascendente y se evaluó la capacidad antioxidante total. Los resultados demostraron que la radiación UVB genera un aumento de densidad celular final, incrementando significativamente la cantidad de polifenoles frente al cultivo control. Por tanto, se puede confirmar que la exposición de microalgas a radiación UVB genera una respuesta antioxidante, creando una gran atracción como recurso biotecnológico.(Copia et al., 2012)

## 6. CONCLUSIONES

---

Los diversos problemas encontrados en la fotoprotección química a lo largo del tiempo, han potenciado la búsqueda de productos naturales biosostenibles, como los basados en extractos de algas marinas. Esto se debe a la presencia en las algas de MAAs, compuestos bioactivos capaces de proteger tanto frente a radiación UVB como UVA, a diferencia de los fotoprotectores convencionales que la mayoría sólo protegen frente a radiación UVA. El interés de los MAAs no se basa sólo en su capacidad fotoprotectora, también en otras propiedades como antioxidante o inmunomoduladora. El elevado potencial de los MAAs los ha llevado a la industria biotecnológica, donde cada día están más presentes. En la actualidad existen métodos de explotación tanto de macroalgas como de microalgas, como el uso de potenciadores químicos para el crecimiento o síntesis de compuestos bioactivos o el aprovechamiento de los afloramientos de microalgas (“blooms”). A pesar de que los resultados son prometedores, se debe continuar investigando hasta conseguir en el mercado fotoprotectores naturales a base de algas con una óptima capacidad fotoprotectora y sin los riesgos para la salud y medioambientales que conllevan los químicos.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] Wang, H.-M. D., Li, X.-C., Lee, D.-J., & Chang, J.-S. (2017). Potential biomedical applications of marine algae. *Bioresource Technology*, 244, 1407-1415. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.198>
- [2] Ariede, M. B., Candido, T. M., Jacome, A. L. M., Velasco, M. V. R., de Carvalho, J. C. M., & Baby, A. R. (2017). Cosmetic attributes of algae - A review. *Algal Research*, 25, 483-487. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.05.019>
- [3] Copia, J., Gaete, H., Zuniga, G., Hidalgo, M., & Cabrera, E. (2012). Efecto de la radiacion ultravioleta B en la produccion de polifenoles en la microalga marina *Chlorella* sp. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 40(1), 113-123. <https://doi.org/10.3856/vol40-issue1-fulltext-11>
- [4] D'Orazio, J., Jarrett, S., Amaro-Ortiz, A., & Scott, T. (2013). UV Radiation and the Skin. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(6), 12222-12248. <https://doi.org/10.3390/ijms140612222>
- [5] Erickson III, D. J., Sulzberger, B., Zepp, R. G., & Austin, A. T. (2015). Effects of stratospheric ozone depletion, solar UV radiation, and climate change on biogeochemical cycling: interactions and feedbacks. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 14(1), 127-148. <https://doi.org/10.1039/C4PP90036G>
- [6] Fernandes, S. C. M., Alonso-Varona, A., Palomares, T., Zubillaga, V., Labidi, J., & Bulone, V. (2015). Exploiting Mycosporines as Natural Molecular Sunscreens for the Fabrication of UV-Absorbing Green Materials. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 7(30), 16558-16564. <https://doi.org/10.1021/acsami.5b04064>
- [7] Hartmann, A., Holzinger, A., Ganzera, M., & Karsten, U. (2016). Prasiolin, a new UV-sunscreen compound in the terrestrial green macroalga *Prasiola calophylla* (Carmichael ex Greville) Kützing (Trebouxiophyceae, Chlorophyta). *Planta*, 243(1), 161-169. <https://doi.org/10.1007/s00425-015-2396-z>

- [8] Kim, J. K., Kottuparambil, S., Moh, S. H., Lee, T. K., Kim, Y.-J., Rhee, J.-S., ... Han, T. (2015). Potential applications of nuisance microalgae blooms. *Journal of Applied Phycology*, 27(3), 1223-1234. <https://doi.org/10.1007/s10811-014-0410-7>
- [9] Korbee, N., Figueroa, F. L., & Aguilera, J. (2006). Acumulación de aminoácidos tipo micosporina (MAAs): biosíntesis, fotocontrol y funciones ecofisiológicas. *Revista chilena de historia natural*, 79(1). <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2006000100010>
- [10] Laszlo, J. A., Compton, D. L., Eller, F. J., Taylor, S. L., & Isbell, T. A. (2003). Packed-bed bioreactor synthesis of feruloylated monoacyl- and diacylglycerols: clean production of a “green” sunscreen. *Green Chem.*, 5(4), 382-386. <https://doi.org/10.1039/B302384B>
- [11] Menegol, T., Diprat, A. B., Rodrigues, E., & Rech, R. (2017). Effect of temperature and nitrogen concentration on biomass composition of *Heterochlorella luteoviridis*. *Food Science and Technology*, 37(spe), 28-37. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.13417>
- [12] Navarro, N. P. (2015). Sunscreens of red algae from Patagonia: a biotechnological perspective. *Pure and Applied Chemistry*, 87(9-10). <https://doi.org/10.1515/pac-2015-0406>
- [13] Priyadarshani, I., & Rath, B. (2012). Commercial and industrial applications of micro algae – A review, 12.
- [14] Saewan, N., & Jimtaisong, A. (2015). Natural products as photoprotection. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 14(1), 47-63. <https://doi.org/10.1111/jocd.12123>
- [15] Scheuer, E., & Warshaw, E. (2006). Sunscreen Allergy: A Review of Epidemiology, Clinical Characteristics, and Responsible Allergens: *Dermatitis*, 17(1), 3-11. <https://doi.org/10.2310/6620.2006.05017>

- [16] Wang, H.-M. D., Chen, C.-C., Huynh, P., & Chang, J.-S. (2015). Exploring the potential of using algae in cosmetics. *Bioresource Technology*, *184*, 355-362. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.12.001>
- [17] UNEP Environmental Effects Panel (Ed.). (2010). *Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: 2010 assessment*. Nairobi, Kenya: Ozone Secretariat, United Nations Environment Programme (UNEP).
- [18] Adones, J., & Díaz, J. (2017). MAAs fotoprotección: aminoácidos de tipo micosporina fotoprotectores naturales contra la radiación UVB para uso en cosmética. *Revista de Investigaciones Escolares*.
- [19] Yang, G., Cozad, M. A., Holland, D. A., Zhang, Y., Luesch, H., & Ding, Y. (2018). Photosynthetic Production of Sunscreen Shinorine Using an Engineered Cyanobacterium. *ACS Synthetic Biology*, *7*(2), 664-671. <https://doi.org/10.1021/acssynbio.7b00397>
- [20] Young, A. R., Claveau, J., & Rossi, A. B. (2017). Ultraviolet radiation and the skin: Photobiology and sunscreen photoprotection. *Journal of the American Academy of Dermatology*, *76*(3), S100-S109. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2016.09.038>
- [21] Liu, Z. (2004). Occurrence of mycosporine-like amino acids (MAAs) in the bloom forming cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. *Journal of Plankton Research*, *26*(8), 963-966. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbh083>
- [22] Pérez-Sánchez, A., Barraón-Catalán, E., Herranz-López, M., & Micol, V. (2018). Nutraceuticals for Skin Care: A Comprehensive Review of Human Clinical Studies. *Nutrients*, *10*(4), 403. <https://doi.org/10.3390/nu10040403>