

Protección Ultravioleta: realidades y retos

Mariana Flores-Jarillo*, Alejandro Álvarez-Hernández

Resumen

La sobre exposición a la luz ultravioleta proveniente del sol daña la piel y puede causar quemaduras, envejecimiento prematuro de la piel y cáncer. Los ingredientes de los protectores solares reducen el daño a la piel y aunque son aceptados por organismos de protección a la salud, tienen riesgos que no han sido estudiados a fondo. Es necesario difundir la información disponible sobre la seguridad y riesgos de estos ingredientes, las concentraciones y frecuencia de uso recomendadas. Los efectos adversos del protector solar pueden ser mitigados, en cierta medida, por la adición de antioxidantes e inhibidores de radicales libres, mediante el encapsulamiento de los ingredientes activos y uso de protección solar no tópica.

Palabras Clave: Radiación ultravioleta, protección UV, fotodegradación, actividad fotocatalítica, alternativas de fotoprotección.

Abstract

Overexposure to ultraviolet light from the sun damages the skin and can cause sunburn, premature aging of the skin and cancer. Sunscreen ingredients reduce damage to the skin and although they are accepted by health protection agencies, they have risks that have not been thoroughly studied. It is necessary to disseminate the available information on the safety and risks of these ingredients, the recommended concentrations and frequency of use. The adverse effects of sunscreen can be mitigated, to some extent, by the addition of antioxidants and free radical inhibitors, by encapsulation of the active ingredients, or using nontopical sunscreen.

Keywords: ultraviolet radiation, UV protection, photodegradation, photocatalytic nature, photoprotection alternatives.

Introducción.

Aunque cierta cantidad de radiación ultravioleta (UV) proveniente de la luz solar es necesaria para la biosíntesis de vitamina D y la formación de endorfinas (Serpone, 2021), la sobreexposición directa de la piel puede causar quemaduras, envejecimiento prematuro y cáncer. Este último es debido a que el UV es capaz de inducir cambios en la estructura química de los nucleótidos que componen el ADN. Por ejemplo, la radiación UV produce dímeros de timina (Figura 1) (Kamiya, 1993 y Finch, 2013) que ocasionan el cruzamiento interno de una hebra de ADN o el entrecruzamiento de dos hebras. La enzima ADN polimerasa

no puede leer correctamente el fragmento de ADN y puede provocar fallas en el proceso de replicación que pueden conducir a una mutación genética. Existen enzimas que reparan el daño a la estructura del ADN y cuando el daño persiste sobreviene la apoptosis (muerte celular programada que, en la piel, puede ser visible como una quemadura solar). Sin embargo, si las células con ADN modificado sobreviven pueden convertirse en cancerígenas. (Priyanka, 2013) Aunque los mecanismos para que esto ocurra son variados e inespecíficos se sabe que la mutación del gen que codifica a la proteína Src tirosina quinasa, encargada de controlar la comunicación y el crecimiento celular, provoca un crecimiento incontrolado de células que producen tumores y/o cáncer. (Goodsell, 2003)

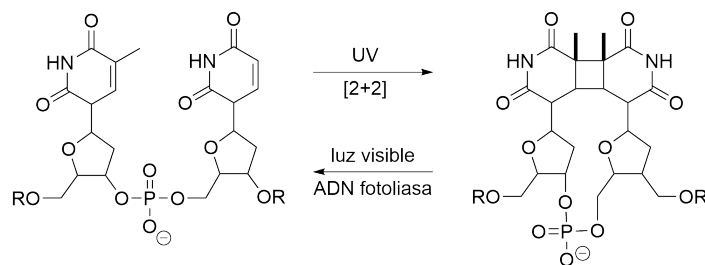


Figura 1. Dímeros de timina con estructura de ciclobutano formados por radiación UV. (Kamiya, 1993 y Finch, 2013)

La luz UV solar se clasifica según su longitud de onda en UVA (320 - 400 nm), UVB (290 - 320 nm) y UVC (100 - 290 nm). (Lee, 2019) Esta última es la fracción más dañina por ser de mayor energía, pero es filtrada por la capa de ozono atmosférica. Por lo tanto, los protectores solares, disponibles como cremas, lociones, geles, polvos y aerosoles están diseñados para proteger la piel de los rayos UVA y UVB. Se les asigna un valor de protección o FPS (factor de protección solar) en función de su capacidad de reflejar, absorber o dispersar la luz UV. El valor de FPS reportado en las etiquetas de los protectores solares se refiere a la cantidad de energía que es necesaria para producir una dosis mínima de lesión cutánea, es decir enrojecimiento o eritema, en la piel protegida por el protector solar relativo a la energía necesaria para causar el mismo daño en la piel sin protector. Esta información da una idea de la protección a sufrir quemaduras por la radiación solar,

Área Académica de Química. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. *mariana_flores@uaeh.edu.mx

a mayor valor FPS incrementa la protección. (Serpone, 2021) La FDA (*US Food and Drug Administration*) ha propuesto que un SPF entre 2 y 12 ofrece una protección mínima, entre 12 y 30 una protección moderada y mayor a 30 una protección alta. (Serpone, 2021)

Los protectores solares comerciales deben cumplir con ciertas características: (Priyanka, 2013)

- Absorber o filtrar los rayos UVB (290-300 nm) los cuales causan quemaduras.
- Absorción ligera o nula de los rayos UV más allá de 340 nm.
- Estabilidad en presencia de luz, aire y humedad. Si llegan a descomponerse bajo estas condiciones, los productos de degradación deben tener una absorción comparable con la de los compuestos originales.
- Los compuestos de descomposición no deben ser tóxicos ni causar irritación bajo las condiciones de uso.
- Ser solubles en la base de la crema o el vehículo en el que es formulado y tener baja solubilidad en agua.
- Tener pH neutro para no producir efectos nocivos en la piel.
- No deben ser volátiles para evitar evaporación durante su uso.
- No deben ser absorbidos rápidamente por la piel.

La determinación del SPF se limita a la protección eritemal y abarca todo el intervalo UVB aunque sólo parcialmente el UVA, por lo cual es posible que algunos filtros solares provean menor protección de la esperada. En estos casos, el valor SPF en las etiquetas de los protectores solares pueda dar una falsa sensación de seguridad al consumidor.

Además, se debe tomar en cuenta que, aunque los protectores solares previenen el enrojecimiento de la piel esto no debe tomarse como una señal para prolongar la exposición a la luz solar y, sobre todo, a las longitudes de onda no cubiertas por el protector (Serpone, 2021) Los efectos por el tiempo de exposición pueden variar según la ubicación geográfica, hay mayor radiación a nivel del mar que en la montaña y a menor latitud, la hora del día y el tipo de piel.

2. Antecedentes: Protectores solares y sus inconvenientes.

Actualmente existen 16 ingredientes activos de protectores solares permitidos por la FDA que se dividen en dos tipos por su modo de acción: los químicos, que absorben los rayos UV y los convierten en calor, y los físicos, que reflejan y dispersan los rayos UV. La mayoría son sustancias orgánicas (Figura 2) que actúan como barreras químicas, y el resto ingredientes inorgánicos que actúan como barreras físicas. (Adler, 2020) Los ingredientes activos se clasifican como seguros y efectivos (GRASE, por las siglas en inglés *General Recognition of Safety and Effectiveness*) y los

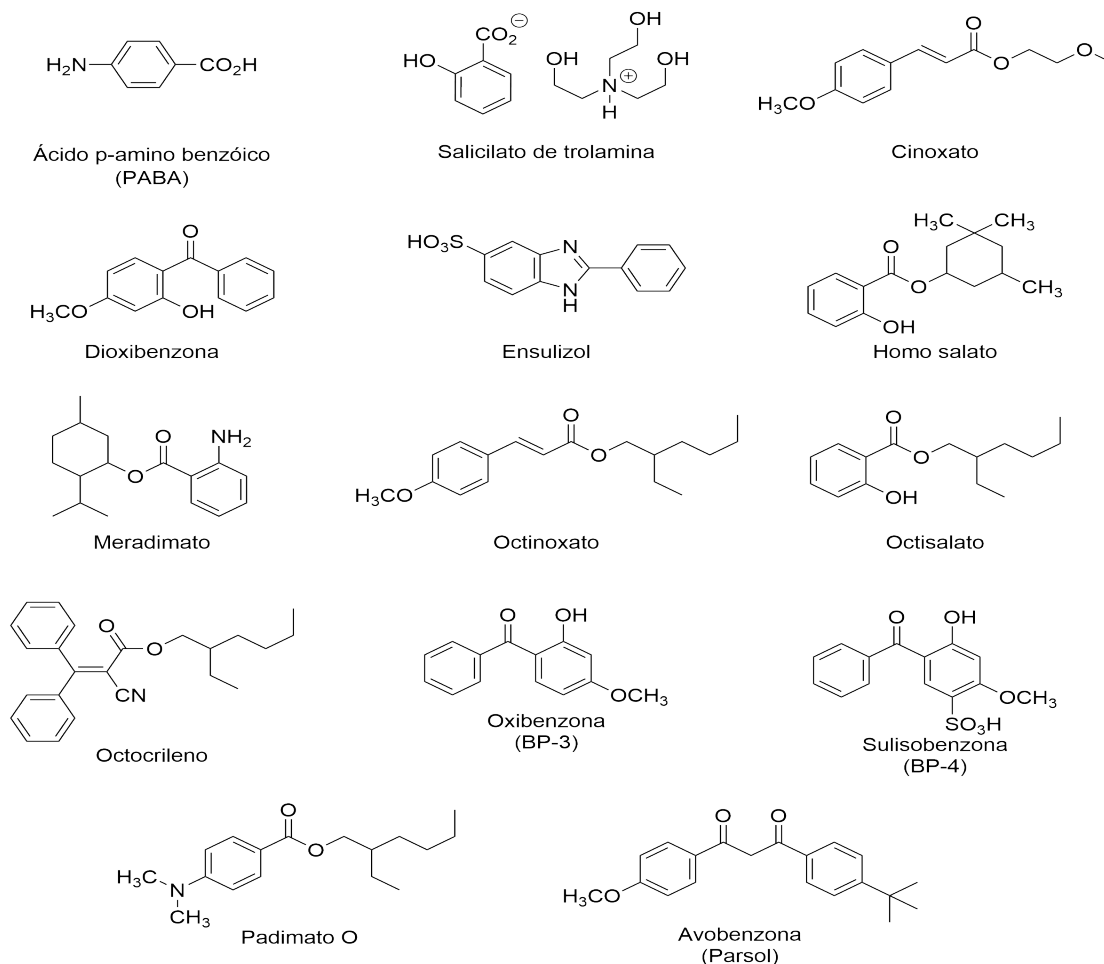


Figura 2. Ingredientes activos orgánicos de protectores solares

Tabla I. Ingredientes activos de protectores solares aceptados por la FDA y sus posibles efectos adversos reportados.

Categoría I	Possible efecto adverso
Óxido de Zinc	Genera radicales libres altamente oxidantes y peróxido de hidrógeno.
Dióxido de titanio	Inducen daño oxidativo en el ADN que conduce a la muerte celular. (Serpone, 2007)
Categoría II	
Ácido p-amino benzoico (PABA)	Penetra la piel y entra en circulación sistémica. Causa alergias. Se asocia a desordenes autoinmunes. (Serpone, 2021)
Salicilato de trolamina	Soluble en agua. Utilizado como analgésico externo, está comprobado que puede penetrar la piel. (Serpone, 2021)
Categoría III	
Cinoxato	Favorece la mutagenesis inducida por UV. (Shimoi, 1989).
Dioxibenzona	Imita a los estrógenos humanos. (Serpone, 2021)
Ensulizol	Daña el ADN a través de la generación de especies reactivas de oxígeno. (Lintner, 2022)
Homosalato	Actividad estrogénica, androgénica y a progesterona. (Krause, 2012).
Meradimato	Favorece la generación de especies reactivas de oxígeno. (Gupta, 2022)
Octinoxato	Disruptor endócrino. Afecta los niveles de testosterona y estradiol. Incrementa la proliferación de células que responden a estrógeno, lo que puede incrementar el riesgo de cáncer de seno. (Maliyil, 2023)
Octisalato	Entra a la circulación sistémica. (Maliyil, 2023).
Octocrileno	Causa dermatitis de contacto en adultos y fotosensibilización. (Maliyil, 2023)
Padimato O	Puede unirse y activar los receptores de estrógeno (actividad estrogénica). Actividad antagónica pronunciada contra los receptores de andrógenos. (Serpone, 2021)
Sulisobenzona (benzofenona-4, BP-4)	Penetra la piel dependiendo del vehículo utilizado en el protector solar. (Kurul, 2001) Puede tener efectos similares a la BP-3.
Oxibenzona (benzofenona-3, BP-3)	Penetra la piel, alcanza el flujo sanguíneo y fue hallado en orina humana y en hígado y cerebro de rata. Asociado a alergias y dermatitis. (Serpone, 2021)
Avobenzona (Parsol)	Altamente inestable a la luz. Los productos de foto degradación son citotóxicos y alergénicos. (Serpone, 2021)

que no cumplen estas características (NO GRASE) y se les divide en tres categorías. (Tabla I). Los compuestos cuya información existente comprueba que son seguros y efectivos se encuentran en la Categoría I. Los ingredientes activos cuyos riesgos superan a sus beneficios se encuentran en la Categoría II y para aquellos en los que la información aún es insuficiente para determinarlos como seguros se encuentran en la Categoría III. (FDA, 2019)

Los agentes de protección tienen inconvenientes. Las moléculas orgánicas sufren fotodegradación a otras sustancias (Sanchez-Prado, 2007) que dan lugar a la aparición de alergias o sensibilización. Por ejemplo, se han reportado numerosos casos de efectos alérgicos y fotoalérgicos en la piel producidos por el ácido p-aminobenzoico (PABA), además de sensibilización cruzada hacia productos similares. Este es un problema serio porque implica la sensibilización a las sulfonamidas que se usan como antibióticos para tratar infecciones del tracto urinario o algunos tipos de neumonía; a los diuréticos de tiazida que se emplean para tratar la hipertensión o a los anestésicos como la benzocaína y la procaína. También hay evidencia de que el PABA penetra las capas de la piel y entra en el sistema circulatorio. Sin embargo, no hay estudios que determinen en qué grado lo

hace y si tiene relación con desordenes autoinmunes. (FDA, 2019). Por otra parte, el salicilato de trolamina puede ser inseguro debido a la actividad biológica de sus componentes, pues el ácido salicílico es antiinflamatorio, analgésico, antipirético y anticoagulante y la trolamina es un analgésico tópico. Si el salicilato de trolamina se aplica cada dos horas como filtro solar, la absorción transdermal del ácido salicílico se debe considerar su efecto anticoagulante y posibles hemorragias, ototoxicidad, reacciones de hipersensibilidad, retención de agua y sal, daño al hígado y el síndrome de Reye (inflamación grave del hígado y el cerebro asociados a infecciones virales y al uso de ácido salicílico). (FDA, 2019)

El problema de uso seguro en productos de protección solar se intensifica para los compuestos de categoría III por la falta de información. Un ejemplo notorio que ha disparado alarmas de bioseguridad es la oxibenzona, una benzofenona con amplio espectro de absorción que comenzó a usarse ampliamente en protectores solares a principios de la década de 1990 como alternativa a los compuestos con PABA. Ahora se sabe que la oxibenzona puede generar especies reactivas de oxígeno cuando es expuesto a la radiación UV y ha sido identificado como un

disruptor endócrino relacionado con disminución de peso al nacer en niñas y con el incremento de peso y circunferencia del cráneo en niños, como genotóxico (Semones, 2017) y potencial alergénico y fotoalergénico. En estudios realizados entre los años 2003-2004 se detectaron trazas de oxibenzona en el 96.8% de las muestras de orina de usuarios de protector solar. (Adler, 2020) Además, se ha encontrado oxibenzona en la leche materna humana, el fluido amniótico y el plasma sanguíneo (Semones, 2017).

Aunque los protectores solares inorgánicos están catalogados por la FDA como ingredientes seguros, se ha reportado que las nanopartículas cristalinas de dióxido de titanio poseen actividad fotocatalítica, en especial la estructura cristalina anatasa polimórfica con respecto a la fase de rutilo polimórfico. (Serpone, 2007) Por esta razón se han establecido los límites del porcentaje de anatasa polimórfica en el dióxido de titanio en la elaboración de filtros solares para reducir la actividad foto catalítica que resultaría en la descomposición de los demás agentes activos (es común, por ejemplo, que los filtros solares mezclen compuestos orgánicos e inorgánicos). Los óxidos inorgánicos también pueden ser foto activados por la luz UV y generar radicales libres altamente oxidantes ($\cdot\text{OH}$ y $\text{O}_2\cdot$) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2). En particular, los radicales hidroxilo ($\cdot\text{OH}$) generados por el dióxido de titanio tienen un efecto dañino *in vitro* en plásmidos en el ADN y sobre las células de la piel humana. (Serpone, 2007)

Los agentes inorgánicos también implican riesgos debido al tamaño de partícula. Por ejemplo, en el óxido de zinc (ZnO) se usan partículas con tamaño menor a 100 nm y en el dióxido de titanio (TiO_2) entre 15 y 50 nm para evitar la apariencia opaca o blanquecina. (Lee, 2019) El daño que estos compuestos pueden ocasionar depende de su capacidad de penetrar la piel, y más importante aún, penetrar hasta el núcleo de las células. A través de los años, los materiales basados en dióxido de titanio han sido diseñados para proveer la absorción máxima por unidad de material mediante el incremento de la sección transversal de absorción que se logra al disminuir el tamaño de partícula, que también facilita la absorción y transporte a otros tejidos. (Cole, 2015) Se ha encontrado que las partículas de TiO_2 sin recubrimiento inducen daño oxidativo en el ADN y conducen a la muerte celular. (Serpone, 2007) Para reducir la foto actividad en la superficie, las partículas de dióxido de titanio son recubiertas con compuestos capaces de formar hidróxidos en la superficie como óxidos de aluminio, de silicio o de zirconio. Debido a la foto inestabilidad y las posibles interacciones no favorables entre agentes orgánicos e inorgánicos, existen restricciones de la FDA que han limitado las opciones de combinación. Sin embargo, la mayoría de los protectores solares comerciales se componen de una combinación de filtros orgánicos y filtros físicos porque un solo agente activo no provee suficiente protección o SPF para el amplio espectro de absorción. Por ejemplo, la combinación de dióxido de titanio con agentes activos orgánicos da como resultados protectores con niveles de SPF muy altos. (Serpone, 2007)

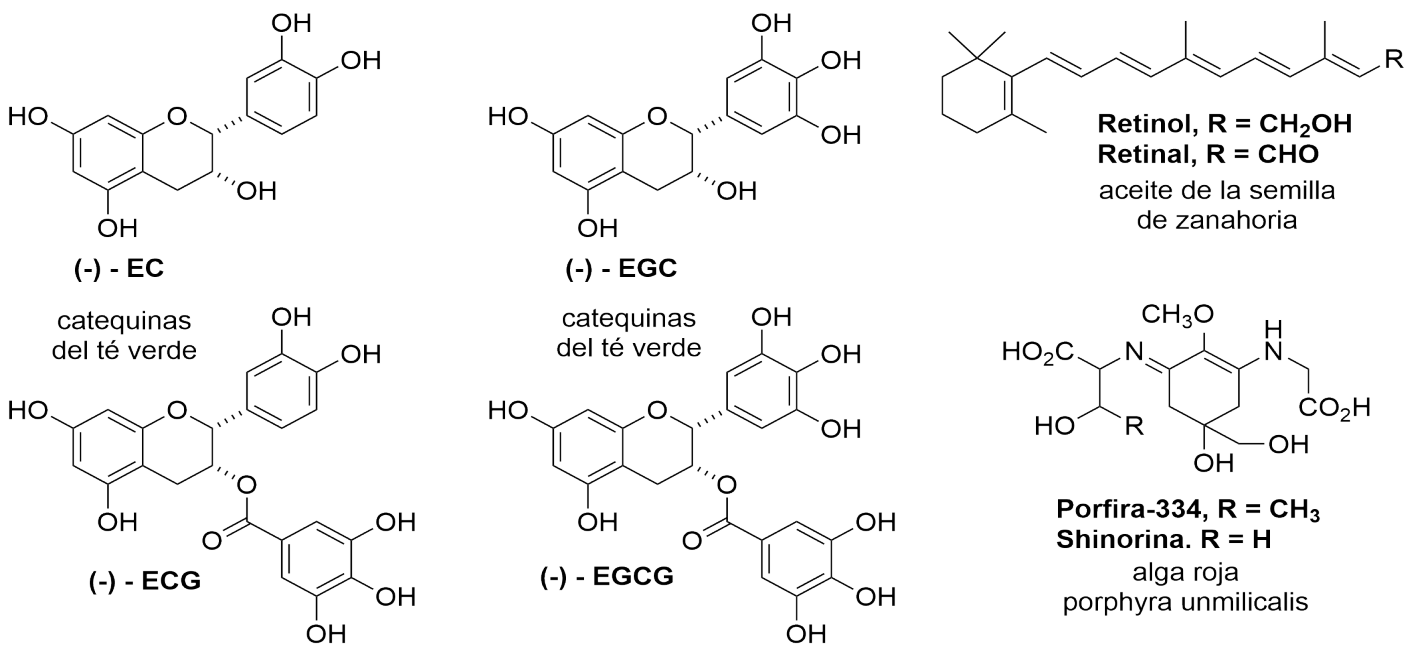
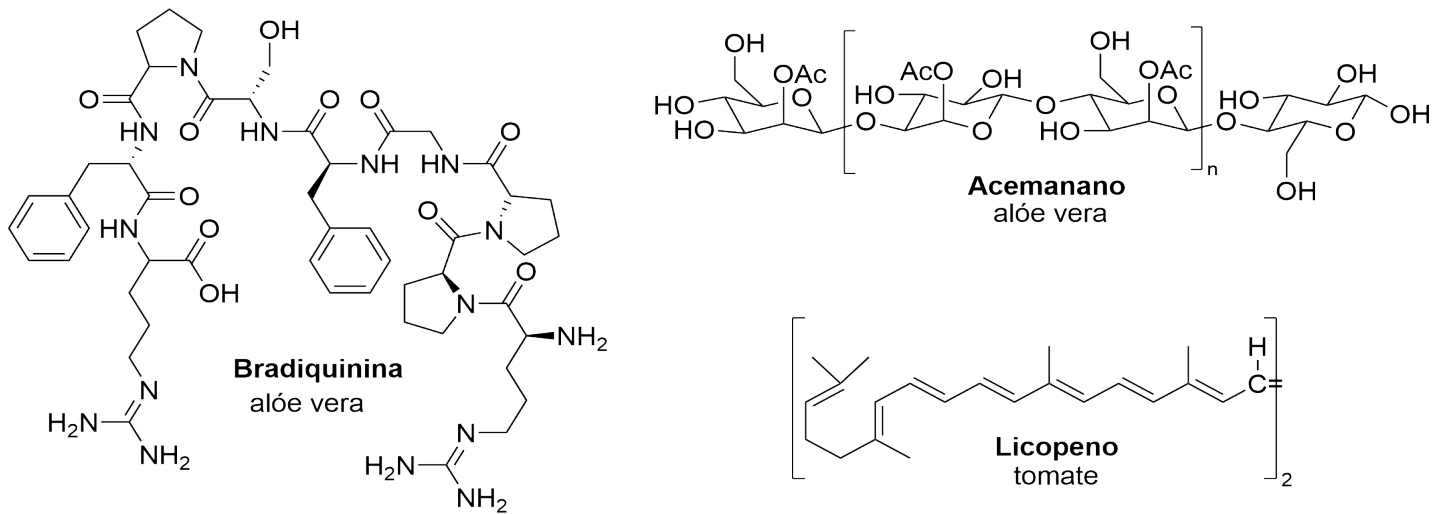
Aunado a los riesgos en la salud humana se deben contemplar los riesgos a la vida marina. Anualmente se liberan en los arrecifes de coral más de 14,000 toneladas de filtros solares de los cuales 10% corresponde a oxibenzona. Desde el año 2008 los filtros orgánicos han sido relacionados con el blanqueamiento del coral, un proceso en el que los corales expulsan sus algas fotosintéticas simbióticas y toman un color blanquecino. Entre los años 2012-

2013 se encontraron filtros orgánicos en la superficie del agua de varios países del mundo e incluso en el Ártico. Se ha confirmado que algunos agentes de gran uso en la industria como la benzofenona-3 (BP-3), benzofenona-4 (BP-4), el 2- etilhexil-4- metoxicinamato (EHMC) y el 4-metilbenzilideno-camfor (4-MBC) son altamente tóxicos para la vida marina. (Gackowska, 2016) El uso casi universal de estos productos hace necesaria una profunda investigación de las implicaciones toxicológicas, reproductivas, endócrinas y neurológicas y resalta la necesidad de encontrar otras alternativas para la formulación de filtros solares seguros al usuario y al medio ambiente.

3. Desarrollo: Sustancias naturales como alternativas de ingredientes en los protectores solares.

Los efectos secundarios de los protectores solares convencionales han provocado el interés en el uso de metabolitos naturales que se consideran de bajo riesgo a la salud y que poseen propiedades de defensa contra los daños del sol en la piel. La melanina es el compuesto natural primordial y universal que brinda protección dérmica y epidérmica al absorber la radiación UV. La producción de melanina hace que la piel se oscurezca al exponerse a la radiación solar y quede más protegida. La piel con melanina absorbe eficientemente la radiación ultravioleta y la neutraliza en más del 99.9% (Serpone, 2021).

Sin embargo, la cantidad de melanina que puede sintetizar la piel depende de la herencia genética de cada individuo y está asociada al tono natural de la piel. La melanina se utiliza actualmente como aditivo en productos cosméticos y su uso se considera seguro. Sin embargo, su obtención a partir de fuentes microbianas aún debe vencer barreras de costo de producción y regulaciones de bioseguridad antes de extender su uso como protector solar. (Choi, 2021) Por lo tanto, aún es necesario recurrir a otros agentes naturales que ofrezcan protección, la figura 2 muestra la estructura química de algunos metabolitos secundarios provenientes de plantas y algas que se pueden desarrollar para elaborar protectores solares alternativos (Priyanka, 2013). El aloe vera podría usarse como protector solar pues al ser irradiado en medio acuoso con luz ultravioleta durante 2h mostró solamente 5% de degradación de sus ingredientes activos y en mezcla con el protector solar comercial octinoxato redujo la degradación de este último hasta en 65% luego de 2 horas de irradiación UV. (Serpone, 2021) El aloe vera bloquea los rayos UVA y UVB del sol y mantiene el balance natural de la humedad de la piel, contiene el péptido bradiquinina (Figura 2) que alivia las quemaduras de la piel y estimula la intervención del sistema inmune y el acemanano, un polisacárido que acelera la reparación y producción de fibroblastos y colágeno. Otra fuente plausible de protección solar es el tomate, rico en licopeno, un compuesto catalogado como antioxidante y potente reductor con potencial como agente anti carcinogénico. El licopeno neutraliza radicales libres, especialmente las especies reactivas de oxígeno que están presentes bajo la capa de la piel y la membrana lipídica y previene los eritemas causados por los rayos UV. También el té verde ofrece sustancias alternativas de protección solar porque produce catequinas, compuestos antioxidantes polifenólicos cuya aplicación tópica en la piel bloquea la infiltración de leucocitos inducida por radiación UVB y reduce la actividad de la mieloperoxidasa. También los extractos del árbol de tulipán africano (*Spathodea campanulata*) contienen alcaloides, ácidos fenólicos y flavonoides que demostraron absorción



árbol de tulipán africano

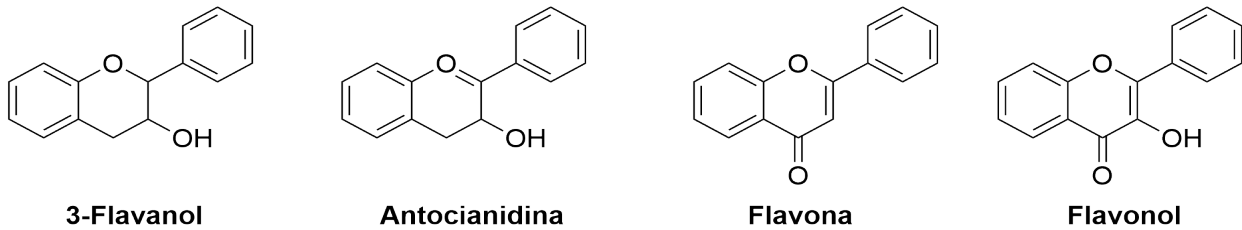


Figura 3. Metabolitos secundarios potenciales protectores contra la radiación UV solar.

prominente en la región de 200-240 nm, buena absorbancia entre 240-325 nm y absorbancia moderada entre 310-340 nm. En particular, las isoflavonas genisteína y daidzeína mostraron ser anticarcinogénicas, protegen la piel de los rayos UVB y previenen el foto-envejecimiento. El aceite de las semillas de zanahoria contiene elevados niveles de vitamina A y cuando se unta el aceite diluido en la piel, funge como protector solar con un SPF muy alto de 38 a 40. Los componentes de las algas rojas porfira, usados como el producto comercial "Helioguard 365" protegen contra la radiación UVA, aunque ofrece protección mínima contra la radiación UVB. (Serpone, 2021)

Aunque el FPS no mide la fotoestabilidad del ingrediente activo, la fotoestabilidad determina, en última instancia, que la actividad protectora indicada por el FPS se cumpla en el usuario de un protector solar. La fotoestabilidad del ingrediente activo depende no sólo de su naturaleza química sino, indirectamente, de la formulación del producto en que se ofrecerá. El uso de preservativos, neutralizadores de radicales libres y/o antioxidantes pueden alargar la vida del ingrediente activo. Por ejemplo, un estudio probó la capacidad antioxidante de los metabolitos naturales resveratrol (presente en la uva) y betacaroteno (en zanahorias, espinacas y calabazas) en la protección de los compuestos usados en productos de protección solar. Cuando se mezclaron avobenzona, resveratrol y betacaroteno en un protector solar, la avobenzona mejoró su fotoestabilidad. Otros antioxidantes que han sido estudiados incluyen malonato de dietil siringilideno, quercetina, vitaminas E y C y ubiquinona. Según estos estudios se puede decir que, la combinación de antioxidantes en los protectores solares podría conducir a formulaciones más fotoestables. (Serpone, 2021)

En el caso de protección por neutralización de radicales, destacan las micospirinas, que se encuentran en muchos organismos marinos y de agua dulce porque evitan la peroxidación de lípidos y la formación de radicales superóxido, incluso después de 16 h de irradiación UV y pueden emplearse en productos comerciales en dosis tan bajas como el 0.0005%. (Serpone, 2021)

Ya que la luz ultravioleta provoca excitación electrónica en los compuestos orgánicos, la adición de inhibidores de estados triplete en la formulación del protector solar debería mejorar la fotoestabilidad del ingrediente activo ya que los estados triplete que se forman en el estado excitado pueden conducir a ruptura de enlaces. Una de las moléculas usadas como estabilizador por este mecanismo, es el (E)-4-metilbencilideno alcanfor que se ha usado, por ejemplo, en avobenzona. Además, el compuesto muestra, por sí mismo, capacidad para proteger la piel frente a la radiación UVB y es fotoestable. Otros ejemplos de protección de triplete incluyen las 1,3,5-triazinas. (Serpone, 2021)

Por último, otras estrategias que han sido estudiadas para aumentar la fotoestabilidad de los compuestos orgánicos usados en fotoprotección son la encapsulación en nanopartículas de lípidos, sílice o en presencia de oro y la microencapsulación en metacrilato, polimetacrilato o en lípidos. (Serpone, 2021)

Ante la dificultad de hallar una solución definitiva y un ingrediente totalmente seguro que nos proteja del exceso de radiación ultravioleta, debemos seguir, al menos, las directrices que ofrece la Organización Mundial de la Salud (OMS): reducir la exposición durante las horas centrales del día y buscar la sombra; utilizar

prendas de protección como sombrero para proteger los ojos, la cara y el cuello y gafas de sol para proteger los ojos y evitar las camas solares. (OMS, 2003)

Acerca de las prendas de protección, se sabe que la ropa común no siempre es suficiente para reducir la cantidad de radiación UV, por ejemplo, una camiseta de algodón de gramaje promedio apenas tiene un valor SPF aproximado de 7, por lo que cada vez más han surgido estrategias para aumentar el grado de protección. Las propiedades de bloqueo UV en los textiles se mide mediante el Factor de Protección Ultravioleta (FPU), el cual, al igual que el FPS, se basa en la protección eritemal e indica la capacidad del material textil de reducir la radiación que llega a la piel y que causaría enrojecimiento.

Los valores de FPU dependen del contenido de fibra, el tipo de tejido y su color, los procesos de acabado y la presencia de aditivos. Los valores también varían según las condiciones de uso, como el estiramiento, el desgaste y el contenido de humedad. Se recomienda que los valores FPU para la ropa de protección UV sean de 40 a 50. (Tsunami, 2010)

En el proceso de dopaje de textiles para aumentar el FPU, se utilizan filtros físicos como los óxidos de titanio y zinc y no sustancias de tipo orgánico debido a que su fotoinestabilidad hace que la eficiencia de la protección disminuya con el tiempo. Los óxidos inorgánicos son introducidos generalmente en tamaños nanométricos, en forma de nanopartículas o nanotubos. El dopaje se ha implementado en tejidos como el algodón, la lana y el poliéster con métodos como el relleno, la nebulización, el recubrimiento sol-gel o el curado por inmersión seguido de calentamiento. En el caso particular de los textiles, el principal desafío es que la capa del protector solar sea resistente al lavado. Esta característica se relaciona con la adhesión de las nanopartículas a las fibras. Para aumentar esa adhesión, se ha investigado el uso de aglutinantes o la creación de enlaces químicos covalentes entre los dos componentes. Se han reportado, por ejemplo, el uso de poli vinil pirrolidona, para mejorar la retención en mojado, el recubrimiento de las nanopartículas con amino silanos, óxido de silicio o acrílico o la unión covalente de las nanopartículas al usar metacrilato como parte de la estructura para formar un enlace de tipo éster con las fibras de algodón. (Tsunami, 2010)

4. Conclusiones

El uso de protector solar es necesario cuando se está expuesto a un exceso de radiación ultravioleta para evitar el cáncer de piel. Sin embargo, se han descubierto efectos nocivos, para el usuario o para el medio ambiente, relacionados a los ingredientes de los protectores solares comerciales. Existen varias propuestas para elaborar protectores solares a partir de metabolitos secundarios provenientes de plantas cuyo uso se considera más amigable al ambiente y más seguro para el usuario, aunque aún deben ser estudiados a fondo antes de recibir la aprobación de las agencias de salud. Mientras tanto, la forma más segura de protegerse es evitar estar expuesto a un exceso de radiación y se debe difundir la información al público para hacer conciencia de que las prácticas como el bronceado o no usar filtros solares no son saludables y representan un alto riesgo de producir cáncer de la piel.

Referencias

1. Adler, B. L., De Leo, V. A. Sunscreen Safety: a Review of Recent Studies on Humans and the Environment. *Curr. Dermatol. Rep.* **2020**, *9*, 1–9 <https://doi.org/10.1007/s13671-020-00284-4>
2. Choi, K. Bioprocess of Microbial Melanin Production and Isolation. *Front. Bioeng. Biotechnol.* **2021**, *9*, 765110 [doi: 10.3389/fbioe.2021.765110](https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.765110)
3. Cole, C., Shyr, T., Ou-Yang, H. Metal oxide sunscreens protect skin by absorption, not by reflection or scattering. *Photodermatol Photoimmunol Photomed.* **2015**, *32* (1) 5-10 [doi: 10.1111/phpp.12214](https://doi.org/10.1111/phpp.12214).
4. FDA, Food and Drug Administration (2019) Sunscreen Drug Products for Over-the-counter Human Use. Federal Register, 84 (38) (acceso 29 mayo 2023) <https://www.federalregister.gov/documents/2019/02/26/2019-03019/sunscreen-drug-products-for-over-the-counter-human-use>.
5. Finch, A. S., Davis W. B., Rokita S. E. Accumulation of the cyclobutane thymine dimer in defined sequences of free and nucleosomal DNA. *Photochem. Photobiol. Sci.*, **2013**, *12*, 1474-1482. [DOI: 10.1039/C3PP50147G](https://doi.org/10.1039/C3PP50147G)
6. Gackowska, A., Przybyłek, M., Studziński, W., & Gaca, J. Formation of chlorinated breakdown products during degradation of sunscreen agent, 2-ethylhexyl-4-methoxycinnamate in the presence of sodium hypochlorite. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, **2016**, *23*, 1886–1897 [doi 10.1007/s11356-015-5444-0](https://doi.org/10.1007/s11356-015-5444-0).
7. Goodsell, D. *Src Tyrosine Kinase*. Educational portal of Protein Data Bank. (acceso 29 mayo 2023) [doi:10.2210/rcsb_pdb/mom_2003_7](https://doi.org/10.2210/rcsb_pdb/mom_2003_7)
8. Gupta A., Sahu S., Gond S. P., Singh B., A. Rajendiran A., Singh A. Pharmacological Review Of Chemical Agents Used In Sunscreen Preparations. *J. Pharm. Negat.* **2022**, *13* (5), 2692-2702. <https://doi.org/10.47750/pnr.2022.13.S05.415>
9. Kamiya, H., Murata, N., Murata, T., Iwai, S., Matsukage, A., Masutani, C., Hanaoka, F., Ohtsuka E. Cyclobutane thymine dimers in a ras proto-oncogene hot spot activate the gene by point mutation. *Nucleic Acids Res.*, **1993**, *21* (10) 2355-2361. [doi: 10.1093/nar/21.10.2355](https://doi.org/10.1093/nar/21.10.2355)
10. Krause, M., Klit, A., Blomberg Jensen, M., Søbørg, T., Frederiksen, H., Schlumpf, M., Lichtensteiger, W., Skakkebaek, N.E. and Drzewiecki, K.T. Sunscreens: are they beneficial for health? An overview of endocrine disrupting properties of UV- filters. *Int. J. Androl.*, **2012**, *35*, 424-436. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2605.2012.01280.x>
11. Kurul, E. and Hekimoglu S., Skin Permeation of Two Different Benzophenone Derivatives from Various Vehicles, *Int. J. Cosmet. Sci.*, **2001**, *23*(4), pp. 211-218, 2001. <https://doi.org/10.1046/j.1467-2494.2001.00089.x>
12. Lee, S. C., Lee S. H., Won, K. Wood Powder as a New Natural Sunscreen Ingredient. *Biotechnol Bioprocess Eng.* **2019**, *24*, 258-263. [DOI 10.1007/s12257-018-0397-z](https://doi.org/10.1007/s12257-018-0397-z)
13. Lintner, M., Schagerl, M., Lintner, B., Nagy M., Heinz P. Photosynthetic performance of symbiont-bearing foraminifera *Heterostegina depressa* affected by sunscreens. *Sci Rep* **2022**, *12*, 2750. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06735-1>
14. Maliyil B, Koshy R, Thilakan Madhavan A, Korrapati N. Trust your sunscreen with caution: A literature review on the side effects of sunscreen. *CosmoDerma* **2023**, *3*, 62. [doi:10.25259/CSDM_52_2023](https://doi.org/10.25259/CSDM_52_2023)
15. OMS, Organización mundial de la Salud. Índice UV Solar Mundial, guía práctica. (Acceso 29 de mayo 2023) <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42633/9243590073.pdf>
16. Priyanka, K. G., Mayuri S., Rashmi. S. Natural Sunscreen Agents: A Review. *Sch. Acad. J. Pharm.* **2013**, *2* (6), 458-463. <https://saspublishers.com/media/articles/SAJP26458-463.pdf>
17. Sánchez-Prado, L. Tesis de licenciatura. Estudio de la fotodegradación de compuestos orgánicos mediante microextracción en fase sólida, cromatografía de gases y espectrometría de masas. Universidad de Santiago de Compostela. 2007. <http://hdl.handle.net/10347/2336>
18. Semones, M. C., Sharpless, C. M., MacKay, A. A., Chin, Y. P. Photodegradation of UV filters oxybenzone and sulisobenzene in wastewater effluent and by dissolved organic matter. *J. Appl. Geochem.*, **2017**, *83*, 150-157, <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.02.008>.
19. Serpone, N. Sunscreens and their usefulness: have we made any progress in the last two decades? *Photochem. Photobiol. Sci.*, **2021**, *20*, 189–244 <https://doi.org/10.1007/s43630-021-00013-1>
20. Serpone, N., Dondi, D., Albini, A. Inorganic and organic UV filters: Their role and efficacy in sunscreens and sun care products. *Inorganica Chim. Acta.*, **2007**, *360* (3), 15 Pages 794-802 [doi:10.1016/j.ica.2005.12.057](https://doi.org/10.1016/j.ica.2005.12.057).
21. Shimoi K., Nakamura Y., Noro T., Tomita I., Sasaki Y., Imanishi, H., Matsumoto,
22. K. Shirasu, Y. Enhancing effects of cinoxate and methyl sinapate on the frequencies of sister-chromatid exchanges and chromosome aberrations in cultured mammalian cells, *Mutat. Res. - Fundam. Mol. Mech.*, **1989**, *212*, (2), 213- 221, [https://doi.org/10.1016/0027-5107\(89\)90072-9](https://doi.org/10.1016/0027-5107(89)90072-9).
23. Tsuzuki T. & Wang X. Nanoparticle Coatings for UV Protective Textiles. *Res. J. Text. Appar.* **2010**, *14* (2), 9-20. <https://doi.org/10.1108/RJTA-14-02-2010-B002>