

Revisión



Imagen por Racool_studio: <https://www.freepik.es>

EVOLUCIÓN TEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA SOBRE FILTROS SOLARES: IMPACTO DE LA NORMATIVA DE LA FDA DE 2019

THEMATIC EVOLUTION OF SCIENTIFIC RESEARCH ON SUNSCREENS: IMPACT OF THE 2019 FDA REGULATION

Dorys Yaneth Rodríguez Castro ¹ | ² Sandra Astrid Rodríguez Castro

RESUMEN

La creciente demanda de protectores solares naturales y sostenibles ha planteado nuevos desafíos para la industria cosmética, especialmente tras la publicación de las regulaciones de la Administración de Alimentos y Medicamentos de los EE.UU. (FDA) en 2019. **Objetivo:** Este estudio analiza la evolución de las principales líneas temáticas en la investigación sobre protectores solares antes y después de la implementación de dichas normativas, con el objetivo de evaluar su impacto en el desarrollo de productos más seguros, eficaces y ecológicos. **Metodología:** A través de una revisión bibliométrica, se identificaron cinco áreas clave de investigación: la eficacia de la fotoprotección, el impacto en la salud de la piel, el desarrollo de filtros inorgánicos y orgánicos, el uso de antioxidantes y los avances en tecnologías basadas en nanopartículas. Los **resultados** indican que estas normativas incentivaron la innovación hacia formulaciones más seguras y sostenibles. Además, se observó una transición significativa en las líneas de investigación entre los períodos pre y pos-FDA. **Conclusiones:** El impacto de estas regulaciones subrayó la importancia del uso de filtros inorgánicos, sistemas de nanopartículas y la adopción de tecnologías de encapsulación y dopación como estrategias emergentes para mejorar la calidad y seguridad de los protectores solares. Finalmente, se proponen recomendaciones para la adopción de estos avances por parte de la industria cosmética colombiana.

Palabras clave:

Filtros solares, Fotoprotección, SPF, Fotosensibilidad.

ABSTRACT

The increasing demand for natural and sustainable sunscreens has posed new challenges for the cosmetics industry, especially following the publication of the US Food and Drug Administration (FDA) regulations in 2019. **Objective:** This study analyses the evolution of the main thematic lines in sunscreen research before and after the implementation of these regulations, with the aim of evaluating their impact on the development of safer, more effective and environmentally friendly products. **Methodology:** Through a bibliometric review, five key areas of research were identified: the efficacy of photoprotection, the impact on skin health, the development of inorganic and organic filters, the use of antioxidants and advances in nanoparticle-based technologies. The **results** indicate that these regulations encouraged innovation towards safer and more sustainable formulations. In addition, a significant transition in research lines was observed between the pre- and post-FDA periods. **Conclusions:** The impact of these regulations highlighted the importance of using inorganic filters, nanoparticle systems, and the adoption of encapsulation and doping technologies as emerging strategies to improve the quality and safety of sunscreens. Finally, recommendations are proposed for the adoption of these advances by the Colombian cosmetics industry.

Key words:

Sun filters, Photoprotection, SPF, Photosensitivity.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de protectores solares sostenibles representa un desafío cada vez más complejo para la industria cosmética global, incluidas las empresas en Colombia. La creciente demanda de los consumidores por productos que sean seguros, eficaces y responsables con el medio ambiente ha impuesto mayores presiones sobre los formuladores, quienes deben crear soluciones que cumplan tanto con las expectativas del mercado como con las normativas internacionales (Bom et al., 2019). En este contexto, las regulaciones de la Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (FDA por sus siglas en inglés) actualizadas en 2019, han marcado un hito en la regulación de los filtros solares al imponer exigencias más estrictas sobre la seguridad y eficacia de los ingredientes activos (FDA, 2019). Estas normativas, que clasifican los ingredientes de los filtros solares en tres categorías de seguridad (I, II, y III), han tenido un impacto significativo en la investigación científica y el desarrollo de productos más innovadores en el ámbito de la fotoprotección.

Los filtros solares han sido objeto de numerosas investigaciones durante las últimas décadas. Estudios anteriores a 2019 se enfocaron predominantemente en evaluar la eficacia de estos productos para proteger contra la radiación ultravioleta (UV), destacando la importancia de la protección de amplio espectro contra los rayos UVA y UVB, ambos relacionados con la prevención del fotoenvejecimiento y el cáncer de piel (Guan et al., 2021). Sin embargo, con la creciente preocupación sobre los efectos ambientales de los filtros solares, especialmente los derivados de la oxibenzona y el octinoxato, surgieron investigaciones que vinculan estos ingredientes con el blanqueamiento de los corales y otros impactos negativos en la vida marina (Stien et al., 2019). Esta problemática ha impulsado la búsqueda de alternativas más seguras, como los filtros solares inorgánicos (p.ej. dióxido de titanio y óxido de zinc), que aunque más amigables con el medio ambiente, presentan retos de formulación relacionados con la estética y la estabilidad (Sabzevari et al., 2021).

En respuesta a estas preocupaciones, la actualización de las normativas de la FDA en 2019 no solo estableció criterios más rigurosos de seguridad para los ingredientes activos de los filtros solares, sino que también impulsó un cambio en la dirección de la investigación científica. Algunos estudios han advertido sobre la sobreestimación de los factores de protección solar (SPF) en productos comerciales y han subrayado la necesidad de métodos más realistas y estrictos de evaluación, en línea con las exigencias de la FDA (Diffey, 2021; Diffey, 2023). Además, el enfoque en la sostenibilidad ha cobrado mayor relevancia, y estudios como los de Tortini et al. (2022) destacan que las regulaciones más recientes han estimulado la innovación en el desarrollo de productos que sean no solo eficaces, sino también seguros para el medio ambiente.

A pesar del creciente número de estudios sobre la eficacia y los impactos ambientales de los filtros solares, existe una importante brecha en el conocimiento sobre cómo la normativa de la FDA de 2019 ha influido en la evolución temática de la investigación. La mayoría de las revisiones previas se han centrado en la efectividad fotoprotectora de los filtros solares y en sus efectos adversos sobre el medio ambiente, pero pocos han abordado cómo las regulaciones recientes han dirigido la innovación hacia la creación de filtros solares más sostenibles y seguros tanto para

la salud humana como para el medio ambiente (Sabzevari et al., 2021). Si bien Stien et al. (2019) y Guan et al. (2021) documentaron ampliamente los riesgos ambientales y dermatológicos de los filtros solares, existe una falta de investigaciones que analicen cómo las normativas han afectado el desarrollo de nuevas tecnologías en fotoprotección (Diffey, 2021; Tortini et al., 2022).

Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo analizar la evolución de las principales líneas temáticas en la investigación científica sobre filtros solares antes y después de la implementación de las normativas de la FDA en 2019. Se busca identificar cómo estas regulaciones han impactado la investigación para el desarrollo de productos más seguros, eficaces y sostenibles, considerando tanto la seguridad dermatológica como el impacto ambiental. Este análisis contribuirá al avance del conocimiento en el campo de la fotoprotección facilitando la innovación en productos de protección solar que respondan a las demandas de los consumidores y a los estándares internacionales. Además, proporciona información valiosa para el sector cosmético colombiano, ya que el país busca posicionarse en el mercado de protectores solares siguiendo los lineamientos regulatorios de diversas autoridades internacionales, incluida la FDA (Macías-Díaz, 2014), la Unión Europea y países como Japón y Australia (MINSALUD, 1998).

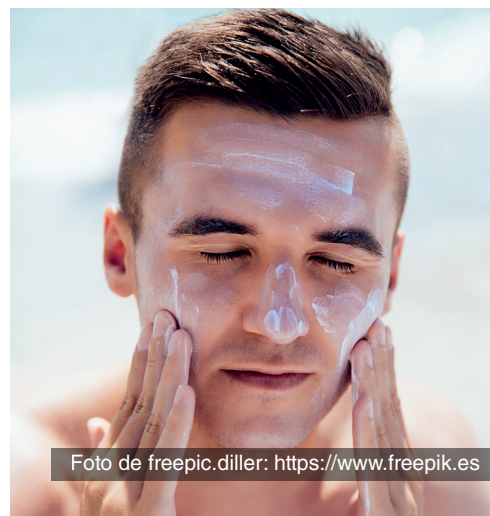


Foto de freepic.diller: <https://www.freepik.es>

REVISIÓN DE LA LITERATURA

La investigación sobre filtros solares ha experimentado un notable progreso en las últimas décadas, abordando tanto la efectividad protectora como los efectos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente. En estudios previos a 2019, el enfoque principal de la literatura académica se centró en la capacidad de los filtros solares para proteger contra la radiación ultravioleta (UV), previniendo daños como el fotoenvejecimiento, la hiperpigmentación y la fotocarcinogénesis (Sabzevari et al., 2021). Además, los estudios subrayaron la importancia de los filtros solares de amplio espectro, que ofrecen protección tanto contra los rayos UVA como UVB, considerados fundamentales para reducir el riesgo de cáncer de piel y otros trastornos cutáneos (Guan et al., 2021).

Con el creciente interés por la sostenibilidad y los efectos ambientales de los productos cosméticos, surgieron preocupaciones sobre el impacto de los filtros solares en los ecosistemas marinos. Otras investigaciones revelaron que ciertos ingredientes activos, como la oxibenzona y el octinoxato, contribuyen al blanqueamiento de los corales y alteran la vida marina (Stien et al., 2019). Esto ha llevado a un aumento de las investigaciones sobre alternativas más seguras, como el uso de filtros solares inorgánicos (minerales) que, aunque ofrecen protección de amplio espectro, presentan retos de formulación relacionados con la estética y la eficacia protectora (Sánchez-Quiles y Tovar-Sánchez, 2015).

En 2019, la FDA revisó sus normativas sobre filtros solares, categorizando los ingredientes activos en tres grupos: los que son considerados seguros (Categoría I), los que requieren más estudios (Categoría III) y aquellos clasificados como no seguros (Categoría II) (FDA, 2019). Este cambio regulatorio obligó a la industria a reevaluar las formulaciones existentes, dando lugar a un nuevo enfoque en la investigación científica sobre la seguridad y eficacia de los filtros solares. Además, las normativas subrayaron la necesidad de productos con un factor de protección solar (SPF) mínimo de 15 y protección de amplio espectro, lo que ha intensificado el interés por desarrollar productos que no solo sean efectivos, sino también respetuosos con el medio ambiente (Tortini et al., 2022).

En este contexto, surge una brecha importante en la transferencia de conocimiento científico hacia el desarrollo de productos cosméticos innovadores, especialmente en países como Colombia, donde la actualización constante de la investigación es crucial para mantenerse al día con las normativas internacionales y satisfacer la demanda de productos sostenibles. Con el objetivo de abordar este vacío, la presente investigación se enfoca en responder a la pregunta: ¿Cuáles son las principales líneas temáticas en la investigación científica sobre filtros solares antes

y después de la implementación de las regulaciones de la FDA en 2019, y de qué manera estas normativas han influido en el desarrollo de filtros solares más seguros, eficaces y sostenibles para la salud humana y el medio ambiente?

METODOLOGÍA

Para identificar las principales líneas temáticas en la investigación sobre filtros solares y evaluar el impacto de las regulaciones de la FDA de 2019 en el desarrollo de productos más seguros y sostenibles, se realizó una revisión sistemática siguiendo el marco metodológico propuesto por Gómez-Cruz et al. (2024).

Búsqueda bibliográfica

La búsqueda de literatura científica se llevó a cabo el 8 de febrero de 2024 en la base de datos Scopus, seleccionada por su cobertura multidisciplinar y su inclusión de revistas relevantes tanto del campo de las ciencias básicas, de la salud, como del medio ambiente. Se utilizó la ecuación TITLE-ABS-KEY (sunscreen OR “filter* UV*” OR “Ultraviolet filter (UVF)” OR “Ultraviolet protection” OR “light protection” OR “sun protection”), limitando los resultados a artículos, conferencias y capítulos de libros. Se incluyeron solo artículos publicados entre 2015 y 2024, dividiéndose en dos periodos de análisis: pre-FDA (2015-2019) y post-FDA (2020 hasta la fecha). Esta búsqueda arrojó un total de 8304 documentos.

Preprocesamiento

Para estandarizar y consolidar los términos extraídos de los documentos, se creó un tesoro que permitió la normalización de acrónimos, expresiones sinónimas, formas plurales y referencias territoriales irrelevantes. Este proceso fue fundamental para asegurar que los términos relacionados con nodos temáticos como sostenibilidad, filtros solares naturales e impacto ambiental, fueran capturados adecuadamente. Tras este proceso, se redujo el conjunto de términos únicos a 9785.

Análisis bibliométrico

Para identificar y analizar la evolución de las líneas temáticas, se empleó un enfoque basado en la co-ocurrencia de términos clave (Donthu et al., 2021). Este análisis se llevó a cabo utilizando el software VOSviewer, el cual permite identificar relaciones entre términos mediante la frecuencia de su co-ocurrencia y la fuerza total de los enlaces que los conectan. Se definió un umbral de ocurrencia mínima de 10 repeticiones para incluir los términos en el análisis, lo que resultó en la selección de 157 términos clave para el periodo pre-FDA y 208 términos para el periodo post-FDA. Posteriormente, estos términos fueron agrupados en clústeres temáticos mediante el

algoritmo de agrupación de Lovaina. Los términos más relevantes dentro de cada clúster se denominan nodos temáticos, y son representativos de las líneas temáticas más importantes en cada periodo (van Eck y Waltman, 2023).

Comparación pre-FDA y post FDA

Se realizó un análisis comparativo entre los dos periodos de análisis, con especial énfasis en los nodos temáticos relacionados con la normativa de la FDA. Se prestó atención a los nodos temáticos sobre filtros inorgánicos y filtros orgánicos clasificados por la FDA en las categorías I (seguros) y III (que requieren más estudios) (FDA, 2019).

Limitaciones del estudio

Una de las limitaciones de este estudio es la restricción a una única base bibliográfica, lo que podría limitar la inclusión de estudios relevantes publicados en otras fuentes. Además, el umbral de co-ocurrencia lo que podría sesgar los resultados hacia temas más ampliamente discutidos por los autores y dejar de lado temas emergentes con menor visibilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la última década se ha publicado la mayor parte de la literatura sobre protectores solares (67% documentos) observando cambios significativos en el enfoque de los estudios. A continuación, se presentan los resultados más destacados, que revelan las principales líneas temáticas, el impacto de la normativa de la FDA en las áreas de investigación, y las innovaciones tecnológicas impulsadas por las nuevas exigencias de seguridad y eficacia.

Descripción de la literatura

Como se observa en la Tabla 1, la literatura sobre protec-

tores solares muestra una evolución en la influencia de ciertas revistas y autores a lo largo de la última década, lo que ha tenido un impacto significativo en los enfoques temáticos de los estudios.

La revista más citada en la investigación sobre protectores solares es *Science of the Total Environment*, reflejando un interés sostenido en el impacto ambiental de los ingredientes de los protectores solares. Sin embargo, al comparar las revistas que ocuparon el segundo puesto en cada periodo, se observa una transición significativa en el enfoque de la investigación (ver Tabla 1).

Durante 2015-2019, el *Journal of Clinical Oncology* ocupó el segundo lugar, con estudios principalmente relacionados con la fotoprotección en el tratamiento de pacientes oncológicos y la prevención del cáncer de piel, lo que refleja un enfoque clínico y dermatológico (pej. Brahmer et al., 2018). En el periodo 2020-2024, tras la implementación de la normativa de la FDA, se observa un cambio temático hacia la sostenibilidad y el desarrollo tecnológico, con revistas como el *International Journal of Biological Macromolecules* y *Chemical Engineering Journal* ganando mayor relevancia. Estas revistas, con 667 y 628 citas respectivamente, han impulsado estudios sobre la innovación en filtros solares basados en biomoléculas y nanopartículas inorgánicas, lo que está alineado con las nuevas exigencias regulatorias para ingredientes más seguros y sostenibles.

El interés por los filtros solares naturales y los cosméticos ecológicos también es evidente en las publicaciones recientes, con revistas como *Molecules* y *ACS Applied Materials and Interfaces*, que han centrado sus investigaciones en nuevos ingredientes bioactivos y antioxidantes naturales, como el ácido rosmarínico, destacando su potencial para mejorar la eficacia fotoprotectora y reducir el impacto ambiental.

Tabla 1
Revistas (de 1646 revistas) que lideran en número de artículos citaciones

Revista	Citas	No art	Cuartil	Índice H
2015-2019				
<i>Science of the Total Environment</i>	3176	65	Q1	317
<i>Journal of Clinical Oncology</i>	2509	2	Q1	600
<i>Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology</i>	2317	82	Q1	137
<i>Science</i>	1466	4	Q1	1283
<i>Chemosphere</i>	1374	34	Q1	288
<i>Frontiers in Plant Science</i>	1354	36	Q1	178
<i>British Journal of Dermatology</i>	1277	28	Q1	194
<i>Journal of Chromatography A</i>	1270	35	Q1	244
<i>Environmental and Experimental Botany</i>	1252	27	Q1	154
<i>Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA</i>	1168	22	Q1	838



2020-2024

<i>Science of the Total Environment</i>	1365	94	Q1	317
<i>International Journal of Biological Macromolecules</i>	667	48	Q1	166
<i>Chemical Engineering Journal</i>	621	28	Q1	280
<i>ACS Applied Materials and Interfaces</i>	597	23	NA	NA
<i>Chemosphere</i>	501	55	Q1	288
<i>Molecules</i>	397	53	Q1	199
<i>Environmental Pollution</i>	395	34	Q1	275
<i>Journal of Cosmetic Dermatology</i>	366	94	Q2	55
<i>Advanced Functional Materials</i>	362	11	Q1	376
<i>International Journal of Molecular Sciences</i>	353	48	Q1	230

Nota: Elaboración propia

En cuanto a los autores más influyentes, la Tabla 2 destaca en términos de publicaciones y citaciones a Huang Wei y David B. Buller, quienes han liderado estudios sobre los mecanismos de fotoinhibición y la implementación de intervenciones en protección solar. No obstante, para los propósitos de esta revisión, los autores más relevantes son Brian Diffey, Christophe Couteau y Lewis Baker, quienes han aportado al desarrollo de metodologías más precisas para la medición del factor de protección solar (FPS) y la fotodinámica de ingredientes utilizados en protectores solares.

Brian Diffey se destaca particularmente por su contribución a la investigación reciente sobre la medición del factor de protección solar (FPS) y la optimización de los perfiles de absorción espectral, temas clave en las normativas actualizadas de la FDA. Sus estudios, publicados después de 2019, han demostrado que los productos etiquetados con SPF50+ tienden a sobreestimar la protección contra la radiación solar, lo que ha llevado a una mayor atención sobre la necesidad de pruebas más rigurosas y realistas, alineadas con los requisitos de la FDA (ej. Diffey, 2021; Diffey, 2023).

Tabla 2

Documentos más citados por autor

Nombre	No	Citas	Temática
Huang, Wei (58205897900)	21	504	Mecanismos de protección fotoinhibitoria y otros temas relacionados con la fotosíntesis y la regulación de la luz en las plantas.
Buller, David B. (7005313534)	21	315	Implementación y evaluación de intervenciones para promover la protección solar en entornos laborales, recreativos y educativos.
Wright, Caradee (16417972200)	17	131	Relación entre la exposición solar y la protección contra el cáncer de piel, en diferentes grupos demográficos en Sudáfrica.
Couteau, C. (6701742926)	13	248	Relación entre protección solar y el uso de productos cosméticos y dermatológicos en humanos y animales. Evaluación de la actividad inmunosupresora de algunos ingredientes presentes en protectores solares.
Diffey, Brian L (7101917737)	12	149	Protección solar y eficacia de los productos de protección solar, incluyendo la medición del factor de protección solar (FPS), la optimización de los perfiles de absorción espectral de los protectores solares.
Baker, Lewis A. (56596101800)	10	421	Fotoprotección y fotodinámica de ingredientes utilizados en protectores solares y derivados naturales.

Nota: Elaboración propia

Identificación de Líneas temáticas

El análisis de co-ocurrencia de términos permitió identificar las principales líneas temáticas en la investigación sobre protectores solares en los periodos pre y post-FDA. La Figura 1 muestra los clústeres generados para cada periodo, evidenciando un cambio notable en las prioridades de investigación. Antes de la implementación de la normativa de la FDA en 2019, la investigación se centraba en la dominancia del Factor de Protección Solar (FPS). Sin embargo, tras la regulación de la FDA, las investigaciones han avanzado hacia un enfoque mayor en la sostenibilidad, la seguridad de los ingredientes y la innovación tecnológica, marcando un cambio claro en las tendencias temáticas del campo.

1. Periodo pre-FDA: Dominancia del Factor de Protección Solar (FPS)

Durante el periodo 2015-2019, los nodos temáticos predominantes se organizaron en seis líneas temáticas: **Factor de Protección Solar, Fotosíntesis, Afecciones cutáneas, Antioxidantes, Cáncer de piel y Cosméticos.**

Los clústeres más relevantes son:

- Clúster 1 (rojo): Factor de Protección Solar (FPS) es el más dominante de la red. Incluye términos como “*sun protection factor*”, “*Oxibenzona*”, “*titanium dioxide*”, y “*nanoparticles*”, reflejando el enfoque predominante en la evaluación de la eficacia de los filtros solares en la protección contra los rayos UV, un tema ampliamente tratado en la literatura antes de 2019, como destaca Diffey (2021) en sus estudios sobre la medición y optimización del FPS.
- Clúster 2 (verde): Fotosíntesis es el segundo en tamaño, destacando nodos temáticos como “*photosynthesis*”, “*NPQ*” (extinción no fotoquímica) y “*chlorophyll*”. Este clúster refleja el interés en comprender los mecanismos de fotoprotección natural en las plantas, centrándose en la extinción no fotoquímica y la fotoinhibición; así como en el papel fundamental que desempeñan pigmentos como la clorofila, los carotenoides y las xantofilas, en la absorción y disipación de la energía lumínica. Este clúster evidencia el interés por el uso de ingredientes naturales para desarrollar filtros solares sostenibles, lo que coincide con los hallazgos de Araújo et al., (2016) sobre el uso de extractos vegetales en fotoprotectores.
- Clúster 3 (azul): Afecciones cutáneas- Este clúster incluye 21 nodos relacionados con enfermedades y efectos crónicos causados por la exposición solar. Los términos más destacados son “*melasma*”, “*photoaging*”, y “*dermatitis*”, reflejando un interés significativo en los trastornos de la piel inducidos por radiación UV y su tratamiento.

2. Periodo post-FDA: Un enfoque en la sostenibilidad y la innovación

Tras la normativa de la FDA en 2019, se observa una transición temática hacia estudios que priorizan la sostenibilidad, el uso de ingredientes naturales y la minimización del impacto ambiental. En este periodo los nodos temáticos se agrupan en cinco líneas temáticas: **Antioxidantes, Filtros inorgánicos, Cosméticos y filtros orgánicos, Fotosíntesis y Factor de Protección Solar.**

Los clústeres más relevantes son:

- Clúster 1 (rojo): Antioxidantes y Fotoprotección natural – Este clúster incluye términos como “*antioxidant*”, “*oxidative stress*”, y “*antioxidant potential*”, Este clúster refleja un interés creciente en la incorporación de antioxidantes naturales, como la vitamina C y el ácido ferúlico, para mejorar la eficacia fotoprotectora y reducir el daño oxidativo (Jesus et al., 2023).
- Clúster 2 (verde): Filtros inorgánicos – Con términos como “*zinc oxide*”, “*titanium dioxide*”, y “*nanoparticle*”, este clúster refleja el cambio hacia el desarrollo de filtros inorgánicos, reconocidos por la FDA como seguros. El uso de nanopartículas ha ganado relevancia en la literatura reciente por su capacidad para mejorar la protección sin los riesgos asociados con los filtros orgánicos, como señala Tortini et al. (2022).
- Clúster 3 (azul) Cosméticos y filtros orgánicos-incluye 42 nodos y refleja un enfoque claro en la investigación sobre la seguridad de los ingredientes cosméticos utilizados en los protectores solares. Incluye los nodos “*cosmetic*”, “*oxybenzone*”, y “*endocrine disruptor*”. También se enfoca en los factores de riesgos “*risk factor*” asociados con el uso de filtros UV orgánicos “*organic UV filters*”, como la benzofenona “*benzophenone*”, y el impacto en el medio ambiente de contaminantes emergentes “*emerging contaminants*”.



Foto tomada de: <https://www.freepik.es>

Figura 1

Mapa por periodo. a) 2015-2019; b) 2020-2024

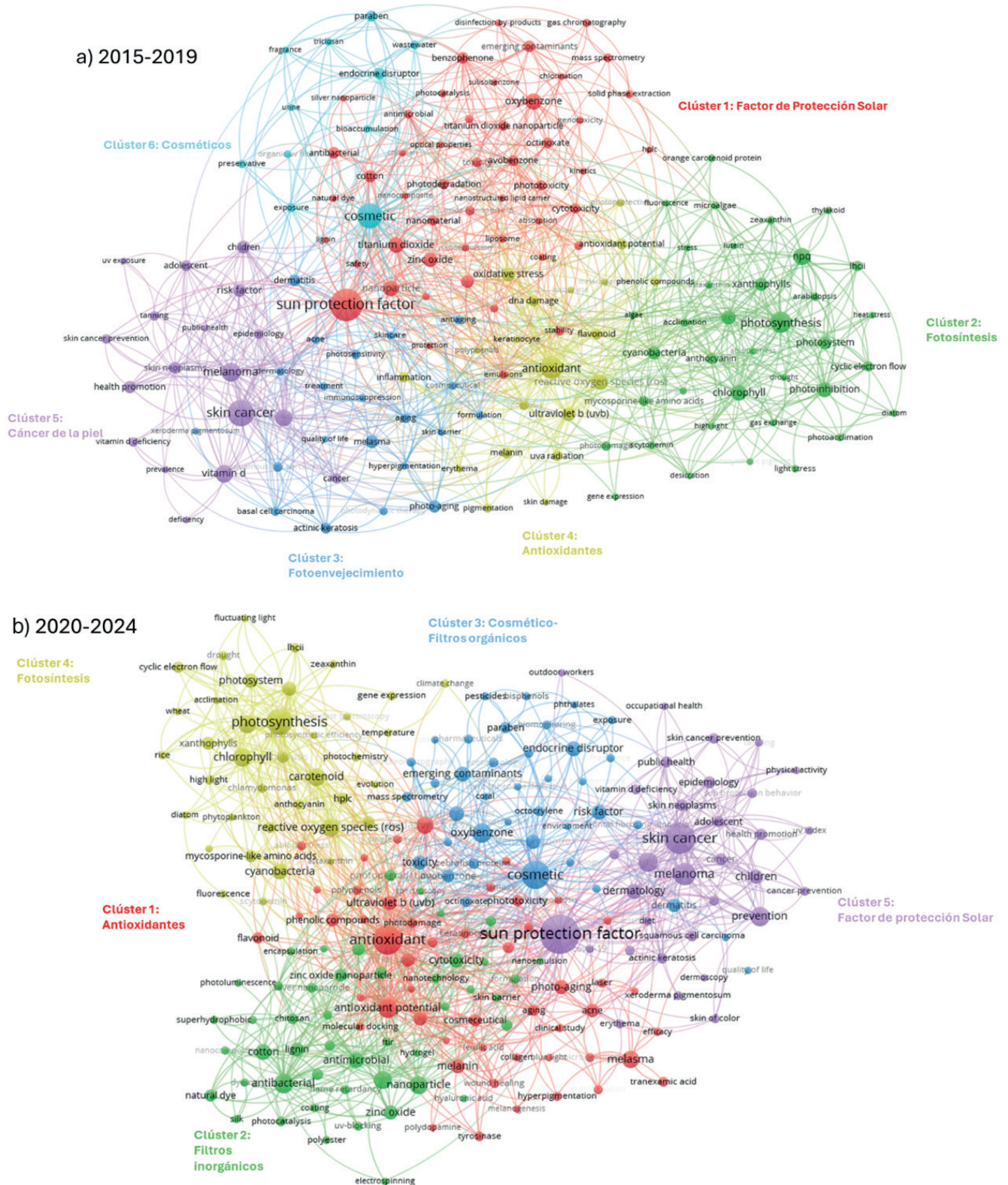


Tabla 3*Lista de nodos por clúster. Ocurrencia (Occ) y Fuerza total del enlace (FTE)*

2015-2019			2020-2024		
Clúster 1 (49 Nodos)	Occ.	FTE	Clúster 1 (50 Nodos)	Occ.	FTE
Factor de protección solar-FPS	319	310	Antioxidante	206	293
Oxibenzona	67	55	Potencial Antioxidante	87	115
Dióxido de titanio (Ti ₂ O)	64	84	Stress Oxidativo	67	117
Nanopartícula (NPs)	62	91	Melasma	66	46
Óxido de zinc (ZnO ₂)	51	70	Ultravioleta B (Uvb)	45	62
Fotoestabilidad	42	47	Fotoenvejecimiento	41	49
Algodón	36	36	Melanina	41	54
Benzofenona	35	39	Antienvejecimiento	38	65
Contaminantes emergentes	35	33	Fotoprotectora	37	57
Antibacterial	32	26	Acné	36	27
Clúster 2 (37 Nodos)			Clúster 2 (50 Nodos)		
Fotosíntesis	123	148	Antibacterial	83	106
Extinción no fotoquímica (NPQ)	74	114	Nanopartículas (NPs)	71	96
Clorofila	65	94	Dióxido de titanio (Ti ₂ O)	68	96
Fotoinhibición	56	87	Antimicrobial	53	71
Carotenoides	50	76	Algodón	53	60
Xantofilas	44	69	Óxido de zinc (ZnO ₂)	43	65
Fotosistema	42	56	Citotoxicidad	41	65
Cianobacteria	41	57	Lignina	37	23
Antocianina	28	30	Nanopartícula Óxido de zinc	35	33
Complejo Recolector de Luz-LHC	27	41	Fotoestabilidad	35	36
Clúster 3 (21 Nodos)			Clúster 3 (42 Nodos)		
Melasma	40	24	Cosmético	195	235
Fotoenvejecimiento	36	43	Oxybenzone	84	91
Dermatitis	34	28	Factor de riesgo	50	72
Queratosis solar o actínica	31	33	Filtro UV orgánico	50	47
Carcinoma de células escamosas	23	46	Disruptor endocrino	49	40
Fotosensibilidad	22	17	Contaminantes emergentes	48	41
Envejecimiento	21	47	Toxicidad	44	53
Carcinoma basocelular	19	36	Benzofenona	43	45
Tratamiento	17	12	Dermatitis	36	38
Dermatología	17	17	Avobenzona	33	43
Clúster 4 (42 Nodos)			Clúster 4 (38 Nodos)		LS
Antioxidante	137	182	Fotosíntesis	164	243
Especies Reactivas de Oxígeno (ROS)	66	91	Clorofila	76	113
Ultravioleta B (Uvb)	49	78	Especies Reactivas de Oxígeno (ROS)	73	121
Estrés oxidativo	48	69	Carotenoides	72	127



Nota: Elaboración propia

La implementación de la normativa de la FDA en 2019 representó un punto de inflexión en la investigación sobre filtros solares, generando un cambio en las prioridades temáticas hacia la sostenibilidad y la seguridad de los ingredientes. La Tabla 4 ilustra el comportamiento de los nodos temáticos que representan los filtros solares antes y después de la normativa, destacando tres tendencias clave: (1) mayor enfoque en los filtros inorgánicos como una alternativa segura y sostenible, (2) mayor escrutinio y declive en el uso de filtros solares orgánicos debido a preocupaciones sobre su impacto en la salud y el medio ambiente, y (3) crecimiento en la investigación sobre nanopartículas, subrayando la necesidad de equilibrar sus beneficios fotoprotectores con los riesgos potenciales para la salud.



Tabla 4*Análisis comparativo de los nodos que representan filtros solares*

#	Ingrediente	2015-2019				2020-2024			
		Clúster	Puesto	Occ.	FTE	Clúster	Puesto	Occ.	FTE
1	Oxybenzone (Benzophenone-3)	1	1	67	43	3	1	84	116
2	Benzophenone Derivative	1	4	35	30	3	3	53	70
3	Avobenzone (Butyl methoxydibenzoyl methane)	1	5	28	28	3	6	33	51
4	Sulisobenzone (Benzophenone-4)	1	9	11	9	3	-	-	-
5	Dioxybenzone (Benzophenone-8)	1	-	-	-	3	-	-	-
6	Titanium Dioxide	1	2	64	54	2	2	68	102
7	Zinc Oxide	1	3	51	40	2	4	43	67
8	Titanium Dioxide Nanoparticle	1	6	25	21	2	7	24	33
9	Zinc Oxide Nanoparticle	1	7	22	17	2	5	35	39
10	Octocrylene	1	8	16	19	3	8	18	35
11	Octinoxate (Ethylhexyl Methoxycinnamate; Octylmethoxycinnamate; OMC	1	7	22	28	3	8	18	22
12	Homosalate	1	10	7	10	3	9	7	13
13	Padimate O (2-ethylhexyl-4-dimethylamin-obenzoate)	-	-	-	-	-	-	-	-
14	Meradimate	-	-	-	-	-	-	-	-
15	Octisalate	-	-	-	-	-	-	-	-
16	Ensulizole	-	-	-	-	-	-	-	-
17	Cinoxate	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota: Elaboración propia

La Tabla 5 presenta los estudios sobre filtros solares más citados entre los periodos pre y post-FDA. El análisis de estos documentos revela un incremento en el uso de filtros inorgánicos, como el dióxido de titanio y el óxido de zinc, en su forma nanoparticulada, con un enfoque en mejorar la protección UV sin causar efectos adversos en la piel o el medio ambiente. Se destacan estudios que investigan la toxicidad de ingredientes tradicionales como la benzofenona y el octocrileno, categorizados como “No GRASE”, debido a sus efectos potencialmente dañinos para la salud y el ecosistema. Además, los hallazgos sugieren una tendencia hacia la investigación en dopación y encapsulación de nanopartículas como estrategias para minimizar la generación de radicales libres, mejorando la estabilidad y seguridad de los productos.

Tabla 5*Documentos más citados sobre filtros solares Categoría I (NO-GRASE) y III (GRASE)*

Ingrediente		Título		Citas	Referencia
2015-2019					
Categoría I-No GRASE					
Titanium Dioxide	56	Rapid analysis of titanium dioxide nanoparticles in sunscreens using single particles inductively coupled plasma-mass spectrometry		84	(Dan et al., 2015)
Zinc Oxide	55	Analysis of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles in cosmetics		294	(Lu et al., 2015)
		Support for the Safe Use of Zinc Oxide Nanoparticle Sunscreens: Lack of Skin Penetration or Cellular Toxicity after Repeated Application in Volunteers		116	(Mohammed et al., 2019)

Category III

Benzophenone	239	Toxicopathological Effects of the Sunscreen UV Filter, Oxybenzone (Benzophenone-3), on Coral Planulae and Cultured Primary Cells and Its Environmental Contamination in Hawaii and the U.S. Virgin Islands	381	Downs et al., (2016)
		Degradation of the UV-filter benzophenone-3 in aqueous solution using persulfate activated by heat, metal ions and light	131	Pan et al., (2018)
Octocrylene	21	Metabolomics Reveal That Octocrylene Accumulates in Pocillopora damicornis Tissues as Fatty Acid Conjugates and Triggers Coral Cell Mitochondrial Dysfunction	57	(Stien et al., 2019)
		Single- and mixture toxicity of three organic UV-filters, ethylhexyl methoxycinnamate, octocrylene, and avobenzene on Daphnia magna	57	(Park et al., 2017)
Octinoxate	7	Ozonation of the oxybenzone, octinoxate, and octocrylene UV-filters: Reaction kinetics, absorbance characteristics, and transformation products	27	(Hopkins et al., 2017)
		Development and validation of a new RP-HPLC method for the simultaneous determination of hydroquinone, kojic acid, octinoxate, avobenzene, BHA and BHT in skin-whitening cream	22	(Galimany-Rovira et al., 2016)
Homosalate	4	Homosalate aggravates the invasion of human trophoblast cells as well as regulates intracellular signaling pathways including PI3K/AKT and MAPK pathways	13	(Yang et al., 2018)
		Evaluation of the endocrine-disrupting effects of homosalate (HMS) and 2-ethylhexyl 4-dimethylaminobenzoate (OD-PABA) in rat pups during the prenatal, lactation, and early postnatal periods	10	(Erol et al., 2017)
Dioxybenzone	2	Revealing Ultrafast Energy Dissipation Pathway of Nanocrystalline Sunscreens Oxybenzone and Dioxybenzone	21	(Deng et al., 2019)
		Development of transient mutagenic activity following the chlorination of the sunscreen UV filter dioxybenzone (benzophenone-8) in bromide-rich water	9	(Manasfi et al., 2019)
Padimate	1	interactions between Padimate O and cyclodextrin receptors in both solution and solid states	0	(Kundu et al., 2019)
Sulisobenzene	1	Photodegradation of UV filters oxybenzone and sulisobenzene in wastewater effluent and by dissolved organic matter	28	(Semones et al., 2017)
Meradimate	0			
Octisalate	0			
Ensulizole	0			
Cinoxate	0			

2020-2024

Category I

Titanium Dioxide	47	Superhydrophobic cotton fabrics coated by chitosan and titanium dioxide nanoparticles with enhanced antibacterial and UV-protecting properties	54	(Raeisi et al., 2021)
Zinc Oxide	42	Green and economic fabrication of zinc oxide (ZnO) nanorods as a broadband UV blocker and antimicrobial agent	62	(Taghizadeh et al., 2020)
		Ligand modified cellulose fabrics as support of zinc oxide nanoparticles for UV protection and antimicrobial activities	50	(Noorian et al., 2020a)

Category III-GRASE

Benzofenone	156	Effective degradation of 2,4-dihydroxybenzophenone by zero-valent iron powder (Fe ⁰)-activated persulfate in aqueous solution: Kinetic study, product identification and theoretical calculations	67	(Zou et al., 2021)
		Toxicity of benzophenone-3 and its biodegradation in a freshwater microalga Scenedesmus obliquus	65	(Lee et al., 2020)



Octocrylene	20	Reproductive toxicity and estrogen activity in Japanese medaka (<i>Oryzias latipes</i>) exposed to environmentally relevant concentrations of octocrylene	39	(Yan et al., 2020)
		Comparison of toxicological effects of oxybenzone, avobenzene, octocrylene, and octinoxate sunscreen ingredients on cucumber plants (<i>Cucumis sativus</i> L.)	39	(Zhong et al., 2020)
Octinoxate	9	Sinapic acid esters: Octinoxate substitutes combining suitable uv protection and antioxidant activity	28	(Peyrot et al., 2020)
Ensulizole	6	Biomarker-based assessment of sublethal toxicity of organic UV filters (ensulizole and octocrylene) in a sentinel marine bivalve <i>Mytilus edulis</i>	19	(Falfushynsk a et al., 2021)
		3D hexagonal hierachitected cobalt sulfide as an enhanced catalyst for activating monopersulfate to degrade sunscreen agent ensulizole	11	(Liu et al., 2022)
Homosalate	6	Use of Physiologically Based Kinetics Modelling to Reliably Predict Internal Concentrations of the UV Filter, Homosalate, After Repeated Oral and Topical Application	6	(Najjar et al., 2021)
		Determination of urinary metabolites of the UV filter homosalate by online-SPE-LC-MS/MS	6	(Ebert et al., 2021)
Dioxybenzone	1	Transcriptome aberration in mice uterus associated with steroid hormone response and inflammation induced by dioxybenzone and its metabolites	2	(Zhan et al., 2021)
Sulisobenzene	1	Multi-omic approach to evaluate the response of gilt-head sea bream (<i>Sparus aurata</i>) exposed to the UV filter sulisobenzene	17	(Colás-Ruiz et al., 2022)
Cinoxate	0			
Meradimate	0			
Octisalate	0			
Padimate	0			

Nota: Elaboración propia

Filtros inorgánicos como una alternativa segura y sostenible

La normativa de la FDA en 2019 marcó un cambio significativo en la investigación sobre filtros solares, promoviendo el uso de filtros inorgánicos, como el dióxido de titanio (TiO₂) y el óxido de zinc (ZnO), debido a su seguridad y bajo impacto ambiental. Los estudios sobre estos compuestos han ganado relevancia en la investigación y desarrollo de protectores solares, como se refleja en la Tabla 4, donde el dióxido de titanio aumentó de 54 a 102 enlaces, y el óxido de zinc de 40 a 67 enlaces entre los periodos pre y post-FDA. Este cambio se debe, en parte, a la clasificación que la FDA otorgó en 2019 a estos filtros como Categoría I GRASE (Generalmente Reconocidos como Seguros y Eficaces), destacando que son seguros para su uso en protectores solares debido a su mínima absorción dérmica y bajo riesgo de irritación, sensibilización alérgica y fotoalergenicidad (FDA, 2019).

La investigación sobre los filtros inorgánicos en el periodo post-FDA se ha centrado en tres ejes clave. Primero, la resolución de los desafíos relacionados con la textura gruesa y la película blanca, que limitan la aceptación comercial de estos filtros solares (Jesus et al., 2022).

Por ejemplo, el estudio de Yang et al. (2023) demostró que la molienda de partículas de TiO₂ y ZnO mejora su capacidad para absorber y dispersar la radiación UV, incrementando la eficacia fotoprotectora sin comprometer la estética del producto. Asimismo, Takekawa et al. (2023) destacaron que el tratamiento superficial de las partículas de TiO₂ puede optimizar su alineación y distribución sobre la piel, mejorando aún más la sensación cosmética y reduciendo los problemas de textura.

En segundo lugar, se han desarrollado innovaciones para el uso de filtros inorgánicos en formulaciones de protectores solares sostenibles, que buscan minimizar el impacto ambiental y proteger la salud humana (Sabzevari et al., 2021). Por ejemplo, Fournier et al. (2021) demostraron que el recubrimiento de partículas de TiO₂ con lignina mejora la seguridad de estos filtros al reducir la liberación de radicales libres, haciéndolos más seguros tanto para los usuarios como para el medio ambiente. Asimismo, Janczarek et al. (2022) subrayan que la modificación del TiO₂ con recubrimientos de SiO₂ y Al₂O₃ disminuye la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), reduciendo así el riesgo de fototoxicidad en la piel.

Por último, se ha observado un desarrollo significativo de innovaciones que aprovechan las propiedades fotoprotectoras multifuncionales de los filtros inorgánicos (Tortini et al., 2022). Por una parte, están las investigaciones que han demostrado que estos filtros son eficaces no solo en la protección solar, sino también por sus propiedades antimicrobianas y antioxidantes, lo que amplía su aplicación en una variedad de productos cosméticos. Por otra, el interés de su uso en textiles con propiedades fotoprotectoras. Por ejemplo, Abdelghaffar et al. (2021) exploraron la incorporación de nanopartículas de TiO_2 y ZnO en tejidos de poliéster para mejorar su resistencia a los rayos UV, junto con propiedades autolimpiantes y antibacterianas, extendiendo su aplicabilidad más allá de los cosméticos a productos multifuncionales. Estos avances son especialmente relevantes en el desarrollo de textiles protectores, que no solo buscan proteger la piel, sino también ofrecer productos duraderos y sostenibles, aplicables en sectores como la ropa médica y la protección solar.

Escrutinio y declive en el uso de filtros solares orgánicos

Desde la implementación de la normativa de la FDA en 2019, los filtros solares orgánicos, como la avobenzona, la oxibenzona y el octocrylene, han sido objeto de un escrutinio más profundo debido a crecientes preocupaciones sobre su estabilidad, impacto ambiental y efectos tóxicos en la salud. Un ejemplo notable es la oxibenzona, uno de los filtros más utilizados en el periodo pre-FDA, que experimentó un aumento significativo en su centralidad, pasando de 43 a 116 enlaces en los estudios post-FDA. Los demás derivados de la benzofenona también incrementaron su centralidad, pasando de 30 a 70 enlaces, mientras que la avobenzona aumentó de 28 a 51 enlaces (ver Tabla 4).

La investigación post-FDA sobre estos filtros se ha centrado en tres aspectos clave:

- **Fotoinestabilidad y Modificación Química:** Uno de los mayores desafíos con los filtros orgánicos, especialmente la avobenzona, es su fotoinestabilidad. Bajo exposición a la luz solar, la avobenzona tiende a descomponerse, lo que reduce su eficacia protectora y genera subproductos potencialmente dañinos (Moi et al., 2021). Para abordar esta limitación, investigaciones recientes han explorado diferentes métodos de estabilización, como la encapsulación en cavidades de ciclodextrinas o el uso de aditivos estabilizantes como el metoxibenzoylmethane (Vishwakarma et al., 2024). Estos métodos han demostrado mejorar la fotoestabilidad de la avobenzona y reducir los riesgos de degradación (Gholap et

al., 2023). Estos avances son críticos para garantizar la seguridad de los filtros orgánicos bajo exposición solar prolongada (Phanphothong et al., 2023).

- **Toxicidad Ambiental y Bioacumulación:** Otra área crítica de investigación se centra en los efectos tóxicos de los filtros orgánicos en organismos acuáticos y terrestres, así como su bioacumulación. Estudios recientes han mostrado que estos compuestos, especialmente la oxibenzona y el octocrylene, pueden ser tóxicos para los organismos acuáticos y contribuir a la contaminación de ecosistemas marinos (Grimmelpont et al., 2023). La bioacumulación de estos filtros en corales y otras especies acuáticas ha generado preocupación, ya que pueden interferir con los procesos biológicos clave de estos organismos (Clergeaud et al., 2023). Además, se ha descubierto que la combinación de filtros solares con microplásticos incrementa su toxicidad, exacerbando el problema ambiental (Kim et al., 2023). Además, estudios como el de Colás-Ruiz et al. (2022), han evaluado el impacto de los filtros UV orgánicos, como el sulisobenzona, en organismos marinos, demostrando efectos adversos que contribuyen a su exclusión gradual en productos solares.
- **Interacción con otros Compuestos y Fototoxicidad:** La fototoxicidad de los filtros orgánicos ha sido otro tema crítico. Investigaciones han demostrado que la combinación de filtros como la avobenzona, el octocrylene y el metoxicinamato de octilo puede generar especies reactivas de oxígeno (ROS), aumentando el riesgo de daño celular. Para mitigar estos efectos, algunos estudios han explorado el uso de antioxidantes naturales como los flavonoides, o vitamina A, que pueden actuar como fotoprotectores adicionales al reducir la formación de ROS y mejorar la seguridad de las formulaciones (Scarpin et al., 2021). Sin embargo, este sigue siendo un tema en evolución, ya que se necesitan más estudios para garantizar la seguridad a largo plazo de estos ingredientes combinados (Jesus et al., 2022).

Despierta el interés en el uso de Nanopartículas

Con la entrada en vigor de la normativa de la FDA en 2019, la investigación sobre el uso de nanopartículas en filtros solares ha ganado protagonismo, destacándose por su capacidad de proporcionar una protección UV eficaz y sus múltiples aplicaciones en productos cosméticos y textiles. Las nanopartículas de dióxido de titanio (TiO_2) y óxido de zinc (ZnO) se han convertido en componentes clave en la formulación de protectores solares de amplio espectro, capaces de bloquear tanto los rayos UVA como

los UVB. Según la Tabla 4, el uso de nanopartículas de TiO_2 aumentó de 21 a 33 enlaces, y el de ZnO de 17 a 39 enlaces en el análisis temático, reflejando un creciente interés en dos áreas clave de investigación: propiedades multifuncionales y sistemas de nanopartículas.

Propiedades Multifuncionales de Nanopartículas en Textiles y Cosméticos: El uso de nanopartículas, especialmente de plata y cobre, ha despertado un gran interés debido a su capacidad para conferir propiedades multifuncionales en protectores solares cosméticos y textiles (Willian et al., 2023). Las nanopartículas de plata (AgNPs) se destacan por sus propiedades antibacterianas, siendo utilizadas en combinaciones con otros compuestos como el dióxido de titanio (TiO_2) para crear productos con resistencia UV y superhidrofobicidad, como en tejidos de algodón y otros materiales textiles (Noorian et al., 2020b). Estas investigaciones también incluyen el uso de extractos herbales para sintetizar nanopartículas de plata con aplicaciones fotoprotectoras en telas, garantizando durabilidad y protección antimicrobiana (El-Naggar et al., 2022). Por otro lado, las nanopartículas de cobre (CuNPs) se utilizan en combinación con otros materiales, como el silicato de litio y nanopartículas de zirconio, para mejorar la absorción de radiación UV y la resistencia al desgaste en textiles avanzados, como el Kevlar (El Nahrawy et al., 2020). Además, investigaciones recientes exploran cómo las interacciones entre nanopartículas de cobre y otros metales pueden potenciar la actividad antioxidante, lo que puede ser clave en el desarrollo de protección solar avanzada.

Estudios como los de Raeisi et al. (2021), han demostrado que las nanopartículas de TiO_2 , además de su protección UV, también mejoran las propiedades antibacterianas cuando se aplican en superficies textiles, lo que abre nuevas posibilidades para su uso en aplicaciones cosméticas y más allá. Asimismo, Taghizadeh et al. (2020) destacan que las nanovarillas de ZnO ofrecen una solución de bajo costo y ecológica para la protección UV de amplio espectro, con propiedades antimicrobianas que aumentan su versatilidad en productos solares. Sin embargo, estas investigaciones también subrayan la necesidad de seguir evaluando los efectos a largo plazo de la exposición a nanopartículas, especialmente en términos de genotoxicidad y posibles implicaciones para la salud humana y los ecosistemas marinos.

Sistemas de Nanopartículas para mejorar la Fotoprotección: La investigación sobre sistemas de nanopartículas en protectores solares se centra en mejorar la protección contra la radiación UV mediante técnicas como la encapsulación y la dopación. Estos sistemas no solo optimizan la eficacia de los filtros solares, sino que también mejoran su estabilidad química y reducen

la fotocatalicidad, minimizando la producción de radicales libres que pueden dañar la piel (Ge et al., 2023).

Por una parte, la encapsulación de los filtros UV dentro de nanopartículas limita su penetración en las capas profundas de la piel, lo que reduce los riesgos asociados a su uso prolongado. Por otra, la dopación de nanopartículas con elementos como aluminio (Al) y sodio (Na) ha demostrado ser eficaz para disminuir la actividad fotocatalítica y mejorar la seguridad de los protectores solares. Por ejemplo, el uso de TiO_2 dopado con Al al 4% aumenta el factor de protección solar (SPF) y mejora la estabilidad del color, lo que resulta especialmente útil en formulaciones cosméticas avanzadas (Ngoc et al., 2023). De manera similar, la dopación de ZnO con Al y Na, ha permitido desarrollar nanopartículas más estables y seguras para su uso en productos respetuosos con el medio ambiente, proporcionando soluciones más seguras y eficaces para la fotoprotección (Porrawatkul et al., 2023).

CONCLUSIONES

Las regulaciones de la FDA de 2019 han tenido un impacto significativo en la investigación científica sobre filtros solares, impulsando la innovación hacia protectores más sostenibles y seguros. En este estudio se evidencia una transición en las líneas temáticas de investigación, con un énfasis creciente en la sostenibilidad y la búsqueda de alternativas naturales y ecológicas para los filtros solares.

La evolución de las normativas de la FDA ha creado un contexto propicio para la innovación tecnológica, promoviendo la emergencia o consolidación de líneas de investigación enfocadas en:

- El uso de nanopartículas como una solución prometedora, no solo para mejorar la protección UV sino también para aumentar la seguridad y la estabilidad de los productos.
- Mejorar los filtros solares orgánicos explorando nuevas combinaciones con antioxidantes naturales para minimizar su impacto ambiental y aumentar su eficacia.
- La innovación en filtros inorgánicos, como el dióxido de titanio y el óxido de zinc, considerados seguros y eficaces, promoviendo su adopción en la industria cosmética y textil por su bajo impacto ambiental.
- Exploración de alternativas de encapsulación y dopación de nanopartículas en filtros inorgánicos para mejorar su dispersión, estabilidad y eficacia sin

AGRADECIMIENTOS

Las conclusiones de este estudio ofrecen información clave para que el sector cosmético colombiano desarrolle protectores solares más seguros, sostenibles y competitivos. Los hallazgos sobre las tendencias de investigación en filtros solares post-FDA pueden guiar a las empresas locales en la adopción rápida y efectiva de innovaciones como el uso de filtros inorgánicos, sistemas de nanopartículas o de tecnologías de encapsulación y dopación, que no solo mejorarían la calidad y eficacia de los productos, sino que también abrirían oportunidades de exportación, posicionando al país como un competidor clave en mercados internacionales exigentes.

Los autores agradecen el apoyo económico al ministerio de ciencia, tecnología e innovación MINCIENCIAS por medio del contrato de financiamiento de recuperación contingente no. 80740-016-2023 otorgado en el marco de la convocatoria 926-2022 Fomento a la innovación y desarrollo tecnológico en las empresas - modalidad 1, proyecto No 92940. Igualmente, agradecen el compromiso y apoyo financiero de la empresa HealthyPharma S.A.S para el desarrollo y puesta en marcha de este proyecto.



BIBLIOGRAFÍA

- Araújo, L., Curty, S., Moreira, A., Rossi, A., Raposo, N., Vaz, U., & Polonini, H. (2016). Development of broad-spectrum natural sunscreens using combinations of five plant species. *Journal of Young Pharmacists*, 8(2), 144–148. <https://doi.org/10.5530/jyp.2016.2.17>
- Bom, S., Jorge, J., Ribeiro, H. M., & Marto, J. (2019). A step forward on sustainability in the cosmetics industry : A review. *Journal of Cleaner Production*, 225, 270–290. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.255>
- Brahmer, J. R., Lacchetti, C., Schneider, B. J., Atkins, M. B., Brassil, K. J., Caterino, J. M., Chau, I., Ernstoff, M. S., Gardner, J. M., Ginex, P., Hallmeyer, S., Holter Chakrabarty, J., Leighl, N. B., Mammen, J. S., McDermott, D. F., Naing, A., Nastoupil, L. J., Phillips, T., Porter, L. D., ... Thompson, J. A. (2018). Management of Immune-Related Adverse Events in Patients Treated With Immune Checkpoint Inhibitor Therapy: American Society of Clinical Oncology Clinical Practice Guideline. *Journal of Clinical Oncology : Official Journal of the American Society of Clinical Oncology*, 36(17), 1714–1768. <https://doi.org/10.1200/JCO.2017.77.6385>
- Clergeaud, F., Giraudo, M., Rodrigues, A. M. S., Thorel, E., Lebaron, P., & Stien, D. (2023). On the Fate of Butyl Methoxydibenzoylmethane (Avobenzone) in Coral Tissue and Its Effect on Coral Metabolome. In *Metabolites* (Vol. 13, Issue 4). <https://doi.org/10.3390/metabo13040533>
- Colás-Ruiz, N. R., Ramirez, G., Courant, F., Gomez, E., Hampel, M., & Lara-Martín, P. A. (2022). Multi-omic approach to evaluate the response of gilt-head sea bream (*Sparus aurata*) exposed to the UV filter sulisobenzone. *The Science of the Total Environment*, 803, 150080. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150080>
- Dan, Y., Shi, H., Stephan, C., & Liang, X. (2015). Rapid analysis of titanium dioxide nanoparticles in sunscreens using single particle inductively coupled plasma–mass spectrometry. *Microchemical Journal*, 122, 119–126. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.microc.2015.04.018>
- Deng, Z., Sun, S., Zhou, M., Huang, G., Pang, J., Dang, L., & Li, M.-D. (2019). Revealing Ultrafast Energy Dissipation Pathway of Nanocrystalline Sunscreens Oxybenzone and Dioxibenzone. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 10(21), 6499–6503. <https://doi.org/10.1021/acs.jpclett.9b02592>
- Diffey, B. (2021). Sunscreen and the Precautionary Principle. *Current Problems in Dermatology*, 55, 394–399. <https://doi.org/10.1159/000517647>
- Diffey, B. L. (2023). Sun protection: false beliefs and misguided advocacy. *The British Journal of Dermatology*, 188(4), 552–554. <https://doi.org/10.1093/bjd/ljac119>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133(March), 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Downs, C. A., Kramarsky-Winter, E., Segal, R., Fauth, J., Knutson, S., Bronstein, O., Ciner, F. R., Jeger, R., Lichtenfeld, Y., Woodley, C. M., Pennington, P., Cadenas, K., Kushmaro, A., & Loya, Y. (2016). Toxicopathological Effects of the Sunscreen UV Filter, Oxybenzone (Benzophenone-3), on Coral Planulae and Cultured Primary Cells and Its Environmental Contamination in Hawaii and the U.S. Virgin Islands. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 70(2), 265–288. <https://doi.org/10.1007/s00244-015-0227-7>
- Ebert, K. E., Belov, V. N., Weiss, T., Brüning, T., Hayen, H., Koch, H. M., & Bury, D. (2021). Determination of urinary metabolites of the UV filter homosalate by online-SPE-LC-MS/MS. *Analytica Chimica Acta*, 1176, 338754. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2021.338754>
- El-Naggar, M. E., Shaarawy, S., Abdel-Aziz, M. S., Abd El Moneim Katry, H., & Youssef, A. M. (2022). Functionalization of cotton fabrics with titanium oxide doped silver nanoparticles: Antimicrobial and UV protection activities. *Luminescence : The Journal of Biological and Chemical Luminescence*, 37(5), 854–864. <https://doi.org/10.1002/bio.4229>
- El Nahrawy, A. M., Montaser, A. S., Abou Hammad, A. B., Ezzat, M., & El-shakankery, M. (2020). Copper Lithium Silicate/ZrO₂ Nanoparticles-Coated Kevlar for Improving UV-Vis Absorbance/ Protection Properties. *Silicon*, 12(7), 1743–1750. <https://doi.org/10.1007/s12633-019-00271-w>
- Erol, M., Çok, I., Bostan Gayret, Ö., Günes, P., Yigit, Ö., Sayman, E., Günes, A., Çelik, D. S., Hamilçikan, S., Altınay, S., & Ercan, O. (2017). Evaluation of the endocrine-disrupting effects of homosalate (HMS) and 2-ethylhexyl 4-dimethylaminobenzoate (OD-PABA) in rat pups during the prenatal, lactation, and early postnatal periods. *Toxicology and Industrial Health*, 33(10), 775–791. <https://doi.org/10.1177/0748233717718974>
- Falfushynska, H., Sokolov, E. P., Fisch, K., Gazie, H., Schulz-Bull, D. E., & Sokolova, I. M. (2021). Biomarker-based assessment of sublethal toxicity of organic UV filters (ensulizole and octocrylene) in a sentinel marine bivalve *Mytilus edulis*. *The Science of the Total Environment*, 798, 149171. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149171>
- Galimany-Rovira, F., Pérez-Lozano, P., Suñé-Negre, J. M., García-Montoya, E., Miñarro, M., & Ticó, J. R. (2016). Development and validation of a new RP-HPLC method for the simultaneous determination of hydroquinone{,} kojic acid{,} octinoxate{,} avobenzone{,} BHA and BHT in skin-whitening cream. *Anal. Methods*, 8(5), 1170–1180. <https://doi.org/10.1039/C5AY02207J>

- 

- Pan, X., Yan, L., Qu, R., & Wang, Z. (2018). Degradation of the UV-filter benzophenone-3 in aqueous solution using persulfate activated by heat, metal ions and light. *Chemosphere*, 196, 95–104. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.152>
- Park, C.-B., Jang, J., Kim, S., & Kim, Y. J. (2017). Single- and mixture toxicity of three organic UV-filters, ethylhexyl methoxycinnamate, octocrylene, and avobenzone on *Daphnia magna*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 137, 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.11.017>
- Peyrot, C., Mention, M. M., Brunissen, F., & Allais, F. (2020). Sinapic Acid Esters: Octinoxate Substitutes Combining Suitable UV Protection and Antioxidant Activity. *Antioxidants* (Basel, Switzerland), 9(9). <https://doi.org/10.3390/antiox9090782>
- Phanphothong, P., Kanpipit, N., & Thapphasaraphong, S. (2023). The characteristics and biological activity enhancements of melatonin encapsulations for skin care product applications. *International Journal of Pharmaceutics*, X, 6, 100217. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijpx.2023.100217>
- Raeisi, M., Kazerouni, Y., Mohammadi, A., Hashemi, M., Hejazi, I., Seyfi, J., Khonakdar, H. A., & Davachi, S. M. (2021). Superhydrophobic cotton fabrics coated by chitosan and titanium dioxide nanoparticles with enhanced antibacterial and UV-protecting properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 171, 158–165. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.220>
- Sabzevari, N., Mba, S. Q., Norton, S. A., & Fivenson, D. (2021). Sunscreens : UV filters to protect us : Part 1 : Changing regulations and choices for optimal sun protection. *International Journal of Women's Dermatology*, 7(1), 28–44. <https://doi.org/10.1016/j.ijwd.2020.05.017>
- Sánchez-Quiles, D., & Tovar-Sánchez, A. (2015). ARE SUNSCREENS A NEW ENVIRONMENTAL RISK ASSOCIATED TO COASTAL TOURISM? *Environment International*, 83, 158–170. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2015.06.007>
- Scarpin, M. S., Kawakami, C. M., Rangel, K. C., Pereira, K. de C., Benevenuto, C. G., & Gaspar, L. R. (2021). Effects of UV-filter Photostabilizers in the Photostability and Phototoxicity of Vitamin A Palmitate Combined with Avobenzone and Octyl Methoxycinnamate. *Photochemistry and Photobiology*, 97(4), 700–709. <https://doi.org/10.1111/php.13407>
- Semones, M. C., Sharpless, C. M., MacKay, A. A., & Chin, Y.-P. (2017). Photodegradation of UV filters oxybenzone and sulisobenzene in wastewater effluent and by dissolved organic matter. *Applied Geochemistry*, 83, 150–157. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.02.008>
- Stien, D., Clergeaud, F., Rodrigues, A. M. S., Lebaron, K., Pillot, R., Romans, P., Fagervold, S., & Lebaron, P. (2019). Metabolomics Reveal That Octocrylene Accumulates in *Pocillopora damicornis* Tissues as Fatty Acid Conjugates and Triggers Coral Cell Mitochondrial Dysfunction. *Analytical Chemistry*, 91(1), 990–995. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.8b04187>
- Taghizadeh, S.-M., Lal, N., Ebrahiminezhad, A., Moeini, F., Seifan, M., Ghasemi, Y., & Berenjian, A. (2020). Green and Economic Fabrication of Zinc Oxide (ZnO) Nanorods as a Broadband UV Blocker and Antimicrobial Agent. *Nanomaterials* (Basel, Switzerland), 10(3). <https://doi.org/10.3390/nano10030530>
- Tortini, G., Ziosi, P., Cesa, E., Molesini, S., Baldini, E., De Lucia, D., Rossi, C., Durini, E., Vertuani, S., & Manfredini, S. (2022). Criticisms in the Development of High-Protection and Broad-Spectrum “Natural/Organic” Certifiable Sunscreen. *Cosmetics*, 9(3), 1–18. <https://doi.org/10.3390/cosmetics9030056>
- van Eck, N. J., & Waltman, L. (2023). VOSviewer Manual version 1-6-19. In Leiden: Univeriteit Leiden (Issue January). http://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.1.pdf
- Vishwakarma, J., Takkella, D., Sharma, S., & Gavvala, K. (2024). Modulation of excimer formation and photostability of avobenzone inside the nanocavities of cyclodextrins. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 449, 115411. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2023.115411>
- Willian, N., Pardi, H., Fitriyah, D., & Desni Yetti, R. (2023). Silver Nanoparticles In Cosmetics: A New Challenge Using Marine Resources. *BIO Web of Conferences*, 79, 1–8. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237912004>
- Yan, S., Liang, M., Chen, R., Hong, X., & Zha, J. (2020). Reproductive toxicity and estrogen activity in Japanese medaka (*Oryzias latipes*) exposed to environmentally relevant concentrations of octocrylene. *Environmental Pollution* (Barking, Essex : 1987), 261, 114104. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114104>
- Yang, C., Lim, W., Bazer, F. W., & Song, G. (2018). Homosalate aggravates the invasion of human trophoblast cells as well as regulates intracellular signaling pathways including PI3K/AKT and MAPK pathways. *Environmental Pollution* (Barking, Essex : 1987), 243(Pt B), 1263–1273. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.09.092>
- Zhan, T., Cui, S., Shou, H., Gao, L., Lu, S., Zhang, C., & Zhuang, S. (2021). Transcriptome aberration in mice uterus associated with steroid hormone response and inflammation induced by dioxybenzone and its metabolites. *Environmental Pollution* (Barking, Essex : 1987), 286, 117294. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117294>
- Zhong, X., Downs, C. A., Li, Y., Zhang, Z., Li, Y., Liu, B., Gao, H., & Li, Q. (2020). Comparison of toxicological effects of oxybenzone, avobenzone, octocrylene,





Zou, M., Qi, Y., Qu, R., Al-Basher, G., Pan, X., Wang, Z., Huo, Z., & Zhu, F. (2021). Effective degradation of 2,4-dihydroxybenzophenone by zero-valent iron powder (Fe(0))-activated persulfate in aqueous solution: Kinetic study, product identification and theoretical calculations. *The Science of the Total Environment*, 771, 144743. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144743>

NOTAS

¹ Doctor en competitividad empresarial y territorial. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3824-0013>. Correo: investigacion@healthandpharma.com.co

² Química farmacéutica, Farmacéutico Industrial. Correo: Sandra.rodriguez@healthandpharma.com.co