



Revisar

Cambios en el microbioma de la piel después de tratamientos dermatológicos Procedimientos: una revisión del alcance

Jeremy R. Ellis ¹ , Eron J. Powell ² , Lucas M. Tomasovic ¹ , Rachel L. Marcheskie ³ , Vishruth Girish ¹ ,
Anmol Warman ¹ y Darshan Sivaloganathan ^{1,*}

¹ Facultad de Medicina, Universidad Johns Hopkins, Baltimore, MD 21205, EE. UU.; jellis44@jhmi.edu (JRE); ltomaso1@jhu.edu (LMT); vgirish1@jhmi.edu (VG); awarman2@jhmi.edu (AW)

² Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad de Utah, Salt Lake City, UT 84112, EE. UU.; eron@sciencewithsandy.com

³ Escuela de Salud Pública Bloomberg de Johns Hopkins, Baltimore, MD 21205, EE. UU.; marche5@jh.edu

* Correspondencia: dsivalo1@jhmi.edu

Resumen: El microbioma de la piel está formado por bacterias, hongos, virus y ácaros, que desempeñan un papel crucial en el mantenimiento de la salud de la piel y la función inmune. Los desequilibrios en esta comunidad microbiana, conocidos como disbiosis, están implicados en diversas afecciones dermatológicas. Si bien se sabe que los productos para el cuidado de la piel influyen en el microbioma de la piel, los efectos de los procedimientos dermatológicos no se han estudiado exhaustivamente. Aquí, realizamos una revisión de alcance para describir los estudios que investigan los impactos de las intervenciones dermatológicas en el microbioma de la piel. La fototerapia surgió como la intervención más estudiada, que abarca la fototerapia UV, la fototerapia, la terapia con láser y la terapia fotodinámica. Las intervenciones químicas, como las exfoliaciones químicas, la micropigmentación y el desbridamiento, tienen estudios comparativamente limitados que describen sus impactos en el microbioma de la piel. Hasta la fecha, no se han realizado estudios sobre una amplia variedad de procedimientos dermatológicos comunes, como la crioterapia, los injertos de piel y la dermoabrasión, que pueden tener mayores probabilidades de afectar el microbioma de la piel. Esto subraya la necesidad de realizar más investigaciones sobre las influencias de los procedimientos dermatológicos, especialmente las intervenciones químicas y físicas, en el microbioma de la piel. Es esencial realizar estudios preclínicos y clínicos más completos no sólo para comprender las consecuencias a largo plazo de estos procedimientos, sino también para optimizar los resultados de los pacientes en la atención dermatológica.

Palabras clave: microbioma cutáneo; disbiosis; microbioma cutáneo; intervención dermatológica



Cita: Ellis, JR; Powell, EJ;

Tomasovic, LM; Marcheskie, RL;

Girish, V.; Warman, A.;

Sivaloganathan, D. Cambios en el microbioma

de la piel después de procedimientos

dermatológicos: una revisión del alcance.

Aplica. Microbiol. 2024, 4, 972–985. [https://doi.org/](https://doi.org/10.3390/applmicrobiol4020066)

10.3390/applmicrobiol4020066

Editor académico: Ian Connorton

Recibido: 23 de mayo de 2024

Revisado: 12 de junio de 2024

Aceptado: 12 de junio de 2024

Publicado: 18 de junio de 2024



Copyright: © 2024 por los autores.

Licenciario MDPI, Basilea, Suiza.

Este artículo es un artículo de acceso abierto.

distribuido bajo los términos y

condiciones de los Creative Commons

Licencia de atribución (CC BY)

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que inhiben el crecimiento de patógenos [11]. Además, el microbioma de la piel sirve para educar las respuestas inmunes en el huésped a través de metabolitos microbianos como los ácidos grasos libres.

1. Introducción

El microbioma cutáneo comprende los microorganismos que habitan la piel humana.

Esta comunidad incluye bacterias, hongos, virus y ácaros, todos los cuales desempeñan un papel en el mantenimiento de la salud de la piel [1]. La composición del microbioma varía según la zona del cuerpo, las condiciones ambientales, la edad, el sexo y el estado de salud individual [2–4]. Las bacterias son los microbios más abundantes presentes en la piel, con géneros clave que incluyen *Staphylococcus*, *Corynebacterium* y *Propionibacterium* [5]. Estas bacterias habitan en nichos específicos de la piel, como las glándulas sebáceas, los folículos pilosos y las glándulas sudoríparas [6]. Los hongos, principalmente del género *Malassezia*, son particularmente frecuentes en áreas sebáceas (productoras de petróleo). Los virus, incluidos los bacteriófagos que infectan bacterias, también forman parte del microbioma de la piel, aunque están menos estudiados en comparación con las bacterias y los hongos [8]. Además, artrópodos como el ácaro *Demodex* residen a lo largo de los folículos pilosos y dentro de las glándulas sebáceas [9].

El microbioma de la piel es esencial para la salud de la piel y realiza diversas funciones críticas.

Una de sus funciones principales es la protección contra patógenos. El microbioma actúa como una barrera física y química, y las bacterias comensales compiten con los microbios patógenos por los recursos y el espacio [10]. Bacterias como *Cutibacterium* acnes producen sustancias antimicrobianas que inhiben el crecimiento de patógenos [11]. Además, el microbioma de la piel sirve para educar las respuestas inmunes en el huésped a través de metabolitos microbianos como los ácidos grasos libres.

péptidos antimicrobianos, modulinas solubles en fenol y componentes de la pared celular [12]. La disbiosis, un desequilibrio o alteración en la composición nativa del microbioma, ha sido implicada en condiciones como la dermatitis atópica, que presenta microambientes de la piel con diversidad disminuida y regulación positiva de la sensibilización del huésped a antígenos relacionados con microbios [13], mientras que condiciones como el acné se han relacionado con el crecimiento excesivo de *C. acnes* [14].

El microbioma de la piel también sirve para mantener la integridad de la barrera física de la piel. Los microbios regulan la producción de lípidos de la piel que fortalecen la barrera; por ejemplo, la producción de ceramidas está implicada en la retención de humedad y ayuda a prevenir el deterioro [15]. Ciertos microbios también desempeñan un papel en la formación de uniones estrechas y la función de los queratinocitos [16]. Las biopelículas beneficiosas también brindan protección contra patógenos tanto física como competitivamente [17].

Desde un punto de vista de gran tamaño, la relación entre los humanos y los microbios que flotan en su piel es simbiótica. Estos antiguos pasajeros han coevolucionado con los humanos, desempeñando funciones beneficiosas como descomponer el sebo [18,19], mantener el equilibrio del pH de la piel [20-22] y producir antioxidantes [23].

Varios factores influyen en la composición del microbioma de la piel. Las diferencias genéticas, como la predisposición a enfermedades autoinmunes, están implicadas en los microbiomas cutáneos individuales [8]. El clima, la contaminación, las prácticas de higiene e incluso la ropa impactan el microbioma [3,24,25]. La edad y los cambios hormonales, particularmente durante la pubertad y la senescencia, alteran el paisaje microbiano [2,26-28]. Tanto las afecciones de salud sistémicas, como la diabetes y la enfermedad del intestino irritable, como las afecciones cutáneas como la psoriasis y la dermatitis atópica, pueden alterar el microbioma de la piel [29-31].

Los dermatólogos saben desde hace mucho tiempo que ciertos productos para el cuidado de la piel también afectan el equilibrio microbiano. Los ingredientes de jabones, antibióticos y cosméticos pueden provocar disbiosis [4]. Sin embargo, se comprende menos la manipulación de la integridad del microbioma de la piel debido a intervenciones dermatológicas procesales, como escisiones, dermoabrasión, terapia con láser y otros procedimientos físicos. Dada la importancia del microbioma cutáneo, buscamos definir el alcance actual de la literatura que explora las alteraciones del microbioma cutáneo causadas por procedimientos dermatológicos.

2. Métodos

Se realizó una revisión del alcance actual de la literatura sobre los efectos de las intervenciones dermatológicas en el microbioma de la piel siguiendo las pautas descritas por Arksey y O'Malley [32] y Levac et al. [33]. Se desarrolló un protocolo de revisión del alcance para guiar el proceso y se registró en [protocols.io](https://dx.doi.org/10.17504/protocols.io.261ge53owg47/v2) [34]. Se puede acceder a él en <https://dx.doi.org/10.17504/protocols.io.261ge53owg47/v2> (consultado el 16 de mayo de 2024). Este artículo se ajusta a la extensión PRISMA diseñada para revisiones de alcance [35].

2.1. Criterios de elegibilidad

Los estudios se incluyeron según tres criterios de inclusión iniciales. Los estudios deben haber sido publicados en 2007 o después, ya que ese fue el año del inicio del Proyecto Microbioma Humano [36]. Se seleccionaron los estudios que contenían la frase microbioma /microbiota/microflora de la piel en el título, las palabras clave o el resumen. Tenga en cuenta que algunos estudios se incluyeron sin especificar la piel si era obvio por el contexto que estaban relacionados con ella. También se incluyeron estudios sólo si trataban directamente de intervenciones dermatológicas. El equipo creó una lista de intervenciones dermatológicas aprobadas utilizando los códigos de terminología de procedimientos (CPT®) actuales de la Asociación Médica Estadounidense (AMA) para dermatología [37]. En total se determinaron 23 categorías de procedimientos dermatológicos. Se descartaron las intervenciones que consistían únicamente en el uso de ungüentos, cremas o emolientes tópicos.

Se excluyeron los estudios que no estaban disponibles en inglés o que no coincidían con los objetivos generales de la revisión. Se excluyeron los estudios relacionados con bacterioterapia y pre/postbióticos porque dichos tratamientos están diseñados principalmente para cambiar los microbiomas y promover el crecimiento microfloral. Como se mencionó anteriormente, los estudios permitidos no podrían abordar

con cremas tópicas, ungüentos, etc. Asimismo, se excluyeron los estudios que utilizaran tratamiento oral, intravenoso o cualquier otra forma sistémica. Finalmente, se necesitaban estudios para evaluar directamente los efectos sobre el microbioma de la piel y no implicar un tratamiento para la disbiosis u otros problemas relacionados. Los mejores estudios fueron los que abordaron directamente el efecto de una intervención dermatológica localizada en el microbioma de la piel.

2.2. Identificación y selección de estudios

Se realizó una búsqueda en PubMed utilizando la herramienta de búsqueda avanzada el 12 de mayo de 2024. Los años incluidos fueron de 2007 a 2030. La estrategia de búsqueda se realizó siguiendo un protocolo similar a una revisión de alcance realizada por Dol et al. en 2019 [38]. Los términos clave se seleccionaron e incluyeron en la búsqueda utilizando la herramienta de búsqueda avanzada de la siguiente manera: “((cirugía del acné) O (biopsia por escisión) O (escisión) O (desbride) O (inyección) O (tatuajes) O (micropigmentación) O (injerto) O (cirugía láser) O (electrocirugía) O (criocirugía) O (quimiocirugía) O (curettage quirúrgico) O (fototerapia) O (dermoabrasión) O (exfoliación química) O (cauterización química) O (Mohs) O (exfoliación de la piel) O (electrólisis) O (radiación)) Y (microbioma de la piel) ”.

Después de los resultados de la búsqueda inicial, se examinaron el título, el resumen y las palabras clave de cada artículo para encontrar artículos que cumplieran con los criterios de inclusión. Luego, los artículos incluidos se sometieron a una revisión completa y se excluyeron si cumplían con los criterios de exclusión, siguiendo los procedimientos descritos en el protocolo. Se indicó el motivo de exclusión de los artículos eliminados durante la revisión completa del artículo .

2.3. Gestión de datos

Los elementos de interés se clasificaron en categorías cuando correspondía, fueron aprobados por el equipo del proyecto y formateados en un documento de Google. Luego , dos revisores enumeraron y evaluaron los estudios incluidos para cada elemento de interés. Si el artículo incluía el elemento de interés, debajo de él aparecía la categoría correcta. Luego, estos datos se trasladaron a una hoja de Google para facilitar la síntesis de datos. Los ítems de interés fueron descripción de la intervención dermatológica; valor n del sujeto de estudio; largo versus corto plazo (donde largo plazo se definió como la duración del estudio que duró más de una semana); condición de piel; y especies sujetas.

3. Resultados

La consulta inicial identificó 524 artículos potenciales para su inclusión. La selección de títulos, resúmenes y palabras clave excluyó 407 artículos que no cumplieron con los criterios de inclusión. Una revisión profunda y completa de los artículos llevó a la exclusión de 93 artículos por los motivos descritos en la Figura 1. Luego se extrajeron los elementos de interés de los 24 artículos incluidos restantes.

Los artículos incluidos se realizaron en tres especies distintas: humanos, perros y ratones. En total, el 87,5% de los artículos se realizaron con sujetos humanos, mientras que el 8,3% se realizaron con perros y el mismo porcentaje con ratones. Tenga en cuenta que un artículo incluía sujetos humanos y ratones. El tamaño promedio de la muestra fue 21,2, oscilando entre 5 y 125 (Tablas 1 y 2). Ningún artículo estudió los efectos de la mayoría de las categorías de intervención descritas anteriormente, específicamente cauterización química, dermoabrasión, injertos de piel, crioterapia, cirugía del acné, biopsia por escisión, inyección, electrocirugía, curetaje quirúrgico, Mohs, electrólisis y radiación.

3.1. La fototerapia altera significativamente el microbioma de la piel

Observamos que más del 70% de los estudios que investigan los efectos de los procedimientos dermatológicos en el microbioma de la piel se han relacionado con la fototerapia (Tabla 1). Este tratamiento terapéutico aprovecha varias longitudes de onda de luz para tratar afecciones como la psoriasis, el eczema, el vitíligo y la dermatitis atópica modulando los procesos celulares y reduciendo la inflamación. Incluye varios tipos de tratamiento amplios utilizados en los estudios revisados, a saber, fototerapia UV, fototerapia, terapia con láser y terapia fotodinámica [39]. Generalmente se asocia con un aumento en la diversidad del microbioma [40-47]. Sin embargo, algunos estudios no encontraron cambios significativos a este respecto [48,49].

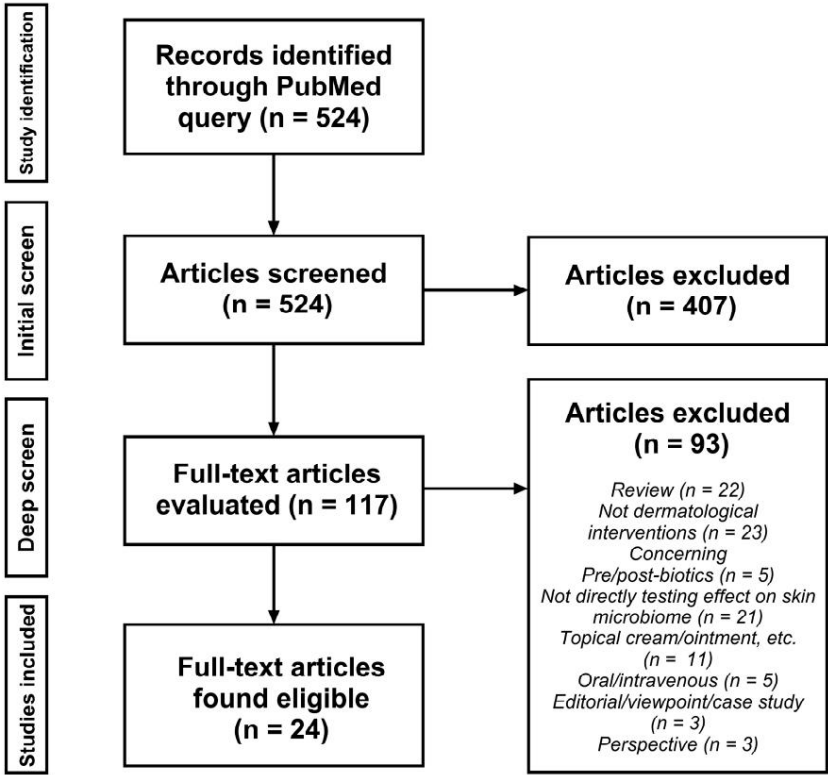


Figura 1. Elementos de informe preferidos para revisiones sistemáticas y metanálisis para revisiones de alcance (PRISMA-ScR) diagrama de flujo del algoritmo de selección de estudios.

3.1. La fototerapia altera significativamente el microbioma de la piel

La fototerapia UV ha sido específicamente útil para la supresión e inducción inmune. Observamos que más del 70% de los estudios que investigan los efectos de la pro- daño al ADN en las células diana. Es un tratamiento común para las afecciones de la piel se han relacionado con la fototerapia (Tabla 1). Este tratamiento terapéutico aprovecha varias longitudes de onda de luz para tratar afecciones como la psoriasis, el vitiligo y la dermatitis atópica [50]. Generalmente es eficaz para reducir la inflamación, especialmente *Staphylococcus aureus* [41,43,51,52], al tiempo que aumenta la abundancia de especies de *Staphylococcus* y *Corynebacterium* como *Staphylococcus capitis*. *Staphylococcus* es decir, fototerapia Cianobacterias [49,53-54]. Como resultado, se observó un aumento en la diversidad del microbioma [40-47]. Sin embargo, et al. no encontraron ningún aumento en la diversidad después de la fototerapia UV de banda estrecha (NB-UVB) inducción, pero los efectos aparecieron después de 6 a 8 semanas de tratamiento de cuerpo completo [42]. En todos los casos en los que se presentaron cambios en la microbiota después de la fototerapia UV, incluso si fueron restringida a unos pocos organismos. La terapia con láser se ha establecido como una forma adecuada de promover la curación de heridas de especies de *Staphylococcus* [40,55,56]. Como *Staphylococcus aureus* y *Staphylococcus epidermidis* [41,43,51,52] y filos como recientemente se ha demostrado que tiene propiedades antibacterianas. no encontraron ningún aumento inicial en la microbiota después de tres efectos ultravioleta B de banda estrecha (NB-UVB), incluida la supresión del crecimiento y la posible alteración de la integridad de la membrana y tratamientos, pero los efectos aparecieron después de 6 a 8 semanas de tratamiento de cuerpo completo [42]. En algunos casos, se presentaron cambios en la microbiota después de la fototerapia UV, incluso si se trataba de diversidad microbiana, pero se observó una disminución en *Staphylococcus pseudintermedius* [49]. Otro El estudio informó una disminución en la diversidad alfa [50]. En tercer estudio se centró específicamente sobre *Pseudomonas aeruginosa*, lo que muestra una formación de biopelículas inhibida, pero solo se realizan pruebas para detectarlo. incluida la supresión del crecimiento y la posible alteración de la integridad de la membrana y de una bacteria en particular [59].

La terapia fotodinámica (PDT) implica la aplicación de un agente fotosensibilizante.

llamado ácido 5-aminolevulínico (ALA) a la piel, que es absorbido por las células y convertido en protoporfirina IX. El área tratada está expuesta a longitudes de onda de luz específicas. La protoporfirina IX absorbe la luz y genera especies reactivas de oxígeno (ROS). Estos ROS destruir selectivamente las células objetivo [60]. Sin embargo, este procedimiento bimodal de aplicación de ALA y luz dirigida se presta a mayores consideraciones al evaluar la causa de Impactos del microbioma. Dos de los tres estudios mostraron un aumento general en la diversidad después tratamiento, mientras que Guo et al. encontró una ligera disminución en la diversidad alfa después del tratamiento que disminuyó con tratamientos posteriores [44,45,61]. El tratamiento con ALA-PDT también condujo a la Disminución de algunas bacterias implicadas en enfermedades de la piel, como *C. acnes*.

Tabla 1. Estudios elegibles recuperados que describen los efectos de la fototerapia en el microbioma de la piel, con resúmenes.

Autor	Año	dermatologico Procedimiento	Tamaño del estudio (n)	Duración del estudio	Condición	Especies	Resultados
Quemaduras y cols. [53]	Fototerapia UV 2019		6	Corto plazo (24 h)	Ninguno	Humano	Hubo un aumento de cianobacterias, junto con una disminución de Lactobacilláceas y Pseudomonadáceas.
Kwong et al. [41]	Fototerapia UV 2019		18 (13 fueron sometido a rayos UV)	Largo plazo (9 semanas)	Dermatitis atópica	Humano	La diversidad microbiana en la piel lesionada aumentó después del tratamiento. El La proporción de Staphylococcus aureus disminuyó con el tratamiento.
Lossius et al. [42]	Fototerapia UV 2021			Dermatitis atópica a largo plazo (6 a 8 semanas)		Humano	La microbiota cutánea de la EA lesionada mostró una mayor diversidad después 6 a 8 semanas de tratamiento, mientras que NLS y microbiota de nariz/garganta permanecido sin cambios. No se observaron cambios significativos en la microbiota. observado después de sólo tres tratamientos NB-UVB.
Hooper y cols. [43]	Fototerapia UV 2022		40 (25 expuestos, 15 control)	A largo plazo (~6,2 meses)	Linfoma cutáneo humano		La diversidad microbiana aumentó en los respondedores NB-UVB. El relativo se redujo la abundancia de S. aureus y Staphylococcus lugdunensis postoperatorio. Niveles más altos de Staphylococcus capitis y Se registraron Staphylococcus warneri en la piel lesionada del respondedor. antes de NB-UVB. Disminución de S. aureus y aumento de S. capitis, Staphylococcus hominis, Staphylococcus pettenkoferi y S. warneri Se encontraron niveles en la piel respondedora después del tratamiento. Estafilococo La abundancia de especies es más similar entre los que no responden y los que no responden. pacientes sin UVB-NB que entre respondedores y pacientes sin NB-UVB.
Assarsson et al. [51]	2018 Fototerapia UV		26	Largo plazo (10,5 semanas)	Placa crónica Soriasis	Humano	Aumento de la abundancia relativa de Clostridium y disminución de la abundancia relativa. La abundancia de Pseudomonas se produjo tanto en lesiones como en piel no lesionada, junto con aumento de Megasphaera en piel no lesionada.
Dotterud et al. [52]	2008 Fototerapia UV		40 (20 dermatitis, 20 controles)	Largo plazo (6 semanas)	Dermatitis atópica	Humano	Los recuentos de S. aureus en la piel lesionada mostraron una disminución no significativa después de 4 semanas de tratamiento, observándose un ligero aumento después de un Seguimiento de 2 semanas. Se observaron tendencias similares en pacientes no lesionados. piel y la frente.
Wang y cols. [61]	2012 Fototerapia UV		5 humanos, 5 ratones	Corto Plazo (1 día)	Ninguno	humano y Ratón	Se produjo una reducción de la producción de porfirina en bacterias faciales humanas y en orejas de ratón inoculadas con Cutibacterium acnes.
Yuan et al. [44]	Fototerapia UV 2020		60	N / A	vitiligo	Humano	El grupo NB mostró índices de diversidad significativamente mayores en comparación con NF, mientras que los grupos NF y DB no difirieron significativamente. Staphylococcus, Bacillus y Prevotella se enriquecieron en DF en comparación con DB, mientras que Propionibacterium mostró la tendencia opuesta.
Parque y col. [40]	Fototerapia UV 2021		20 (10 con atópica dermatitis, 10 sin)	Largo Plazo (2 meses)	Dermatitis atópica	Perro	La fototerapia alteró el microbioma de la piel en perros con EA, aumentando Actinobacterias y Cianobacterias y disminuyendo Staphylococcus pseudintermedius. Se produjo una mayor diversidad alfa. después del tratamiento.

Tabla 1. Cont.

Autor	Año	dermatologico Procedimiento	Tamaño del estudio (n)	Duración del estudio	Condición	Especies	Resultados
Kurosaki et al. [54]	Fototerapia UV 2020		22 (11 lesionales, 11 no lesionales)	Largo Plazo (2 meses)	Dermatitis atópica	Humano	Un aumento de cianobacterias y una disminución de bacteroidetes. Ocurrió en piel lesionada. Una reducción significativa en la abundancia de S. aureus también se encontró a nivel de especie en piel lesionada.
Liu y cols. [48] 2021		Terapia de luz	39 (20 acné, 19 sanos)	Largo Plazo (3 meses)	Acné	Humano	Hubo un aumento significativo en la abundancia relativa de Staphylococcus epidermidis, mientras que C. acnes disminuyó.
Muñoz Declara et al. [49]	2024	Terapia con láser (905 nm, 808 milis nauticas)	20	Corto Plazo (6 días)	Dermatitis atópica	Perro	No hay alteraciones significativas en la composición o diversidad del microbioma. Se observaron, pero una disminución en la abundancia relativa de S. pseudintermedius se observó en las áreas tratadas de algunos perros.
Parque y col. [58]	2023	Terapia con láser (755 nm) 21		Largo Plazo (3 meses)	Rosácea	Humano	Hubo una disminución en la abundancia relativa de Cutibacterium, Streptococcus, Clostridium, Bacteroides y Lactobacillus. Un aumento en la relativa abundancia de Staphylococcus, Neisseriaceae, También se produjeron Corynebacterium, Anaerococcus y Lawsonella. Allí Hubo una disminución en la diversidad alfa después del tratamiento.
Rupel et al. [59]	2019	Terapia con láser (445 nm)	15 (8 tratamientos, 7 controles)	Corto Plazo (único solicitud)	Ninguno	Ratón	La luz láser azul disminuyó Pseudomonas aeruginosa tanto in vitro como en vivo. Esto inhibió la formación de biopelículas.
Guo et al. [45]	2022	ALA fotodinámica Terapia	26 (18 con acné, 8 sin)	Largo plazo (3 semanas)	Acné	Humano	Después del tratamiento se produjo una reducción de la diversidad alfa. no hubo diferencia estadísticamente significativa observada entre diferentes grupos para C. acnes a nivel de género. Hubo un aumento en el abundancia de Pseudomonas, Gordonia, Leptotrichia y Mycobacterium, restableciéndolas a niveles saludables.
Yang et al. [46]	2021	ALA fotodinámica Terapia	5	Largo Plazo (2 meses)	Acné	Humano	La PDT inhibió C. acnes en el microbioma folicular. bacilo y Lactococcus aumentó después de la TFD. ALA-PDT aumentó el microbioma diversidad e hizo que el microbioma folicular se pareciera más al microbioma epidérmico taxonómica y funcionalmente.
Tao y cols. [47] 2021		ALA fotodinámica Terapia	11	Largo plazo (6 semanas)	Acné	Humano	Hubo una disminución notable en la abundancia relativa de C. acnes, mientras que Pseudomonas fluorescens aumentó significativamente. Ningún efecto sobre Se encontró S. epidermidis. Además, ALA-PDT se correlacionó con una mayor diversidad de microbiota y reducciones en la relativa abundancia de genes funcionales relacionados con el metabolismo energético y Replicación del ADN.

NB-UVB = ultravioleta B de banda estrecha; DA = Dermatitis Atópica; NF = piel normal antes de la radiación; NB = piel normal después de la radiación; DF = piel lesionada antes de la radiación; DB = lesional piel después de la radiación; ALA = ácido 5-aminolevulínico; TFD = terapia fotodinámica; NLS = piel no lesionada.

3.2. Diversos procedimientos dermatológicos afectan el microbioma de

la piel Estudios sobre intervenciones dermatológicas distintas de la fototerapia y sus efectos sobre el microbioma de la piel ha tenido un alcance comparativamente limitado (Tabla 2).

Intervenciones químicas/físicas: las

exfoliaciones químicas en dermatología se utilizan para mejorar la apariencia de la piel mediante el tratamiento de afecciones como el acné, la hiperpigmentación y los signos de envejecimiento con el uso de una solución química que exfolia la piel y promueve la renovación celular [62]. Los agentes comunes utilizados son el alfa-hidroxiácido (AHA), el beta-hidroxiácido (BHA), el ácido tricloroacético (TCA) y el fenol. Las exfoliaciones químicas empleadas por Shao et al. (30% TCA) y Bhardwaj et al. (exfoliación sinérgica multiácida patentada) mostraron una disminución constante en ciertas poblaciones bacterianas como *Staphylococcus* y *Propionibacterium*, aunque los cambios generales en la diversidad del microbioma variaron [63,64]. Se supone que las mascarillas de colágeno hidratan la piel, mejoran la elasticidad y reducen la aparición de líneas finas y arrugas al proporcionar una fuente directa de colágeno para apoyar la estructura y firmeza de la piel. Estas mascarillas, cuando se utilizan durante períodos prolongados, pueden aumentar los índices de diversidad microbiana, pero muestran diferencias insignificantes en comparación con la piel no tratada, lo que sugiere un impacto limitado a largo plazo sobre el equilibrio microbiano [65]. El único estudio sobre la terapia de alta frecuencia mostró una reducción en las especies bacterianas y dermatofitos (Tabla 2), lo que indica su potencial para la modulación microbiana dirigida [66].

Un solo estudio observó que los tratamientos físicos, como los piercings cosméticos, modifican el microbioma al disminuir *C. acnes* mientras aumentan *Staphylococcus epidermidis*, lo que refleja específicamente cambios localizados en el microbioma [67]. La micropigmentación se utiliza para mejorar la cosmética, así como para aplicaciones médicas, incluido el camuflaje de cicatrices y vitíligo, mediante la deposición precisa de pigmento en la capa dérmica de la piel. Un estudio que observó los efectos de la micropigmentación específicamente en la córnea no encontró ninguna alteración significativa en el microbioma ocular, lo que sugiere un impacto mínimo en las comunidades microbianas en este contexto específico [68]. El desbridamiento, si bien no altera inmediatamente el microbioma de la herida, revela una asociación entre ciertos géneros bacterianos y heridas que no cicatrizan, lo que enfatiza la influencia potencial del procedimiento en los resultados de las heridas crónicas [69]. En conjunto, estos estudios ilustran los efectos matizados de diversas intervenciones dermatológicas en la composición del microbioma de la piel; Los cambios en la microbiota parecen ser específicos del procedimiento. Sin embargo, estos hallazgos se basan en investigaciones limitadas y se necesitan más estudios para profundizar nuestra comprensión de estos efectos.

Tabla 2. Estudios elegibles recuperados que describen los efectos de los procedimientos dermatológicos químicos y físicos en el microbioma de la piel, con resúmenes.

Autor	Año	dermatologico Procedimiento	Tamaño del estudio (n)	Duración del estudio	Condición	Especies	Resultados
Shao et al. [63]	2023	Exfoliación química	28	Largo Plazo (2 meses)	Acné	Humano	Las proporciones de Staphylococcus y Propionibacterium tendieron a disminuir.
bhardwaj et al. [64]	2024	Exfoliación química	9	Corto Plazo (único aplicación, 20 min)	Hiperpigmentación	Humano	Aumento no significativo en el índice de diversidad de Shannon, un cálculo matemático medida de la diversidad de especies dentro de una comunidad [70]. Beta La diversidad se mantuvo constante. No hay cambios en la abundancia de Staphylococcus epidermidis. Reducción de Cutibacterium acnes. Disminución de la porfirina.
Janssens- Böcker et al. (Janssens y Böcker)	2024	Mascarilla	28	Largo plazo (4 semanas)	Ninguno	Humano	El índice de diversidad de Shannon aumentó significativamente desde el inicio, pero no mostró diferencias en comparación con las áreas no tratadas. el genero Staphylococcus, así como S. epidermidis, disminuyeron específicamente significativamente con el tiempo, pero no en comparación con áreas no tratadas. No Se observaron cambios significativos para Corynebacterium, Pseudomonas, o C. acnes entre puntos temporales o en comparación con áreas no tratadas.
Demherz et al. [66]	2022	Electroterapia (terapia de insuficiencia cardíaca)	N / A	N / A	Acné	N / A	Disminución de especies bacterianas, incluidas Aerococcus viridans, Bacillus cereus, Aerococcus urinaeequi, Staphylococcus lugdunensis, Staphylococcus haemolyticus, Micrococcus yunnanensis, Micrococcus luteus y especies de Mycobacterium. Los dermatofitos disminuyeron en recuento de colonias después del tratamiento con IC, incluido Trichophyton benhamiae, Trichophyton rubrum, Trichophyton mentagrophytes, Trichophyton violaceum y Microsporum canis.
Xu et al. [67]	2023	Perforación	28	Largo plazo (2 semanas)	Ninguno	Humano	Disminución de la frecuencia relativa de C. acnes y una significativa aumento en la frecuencia relativa de S. epidermidis en el Microbioma penetrante.
Yilmaz et al. [68]	2023	Micropigmentación	125 (35 corneales tatuajes, 40 corneales leucoma, 50 sanos)	Desconocido	Leucoma corneal	Humano	No hay diferencias significativas entre ojos nativos y tatuados.
Verbanic et al. [69]	2020	desbridamiento	20	Corto plazo (inmediatamente despues desbridamiento)	Herida crónica	Humano	El desbridamiento agudo no alteró directamente el microbioma de la herida en comparación con la superficie original de la herida. Sin embargo, los aerobios y anaerobios facultativos, particularmente el género Enterobacter, fueron asociado significativamente con heridas que no sanaron dentro 6 meses.

HF = Alta frecuencia.

4. Discusión y conclusiones

Esta revisión destaca el alcance de la investigación sobre los impactos de los procedimientos dermatológicos en el microbioma de la piel. Los hallazgos subrayan los efectos variables de las diferentes intervenciones, siendo la fototerapia la más estudiada. La fototerapia generalmente muestra un aumento en la diversidad microbiana después del tratamiento. Si bien la mayoría de las intervenciones mostraron algún efecto, la fototerapia tuvo el efecto más pronunciado en el microbioma de la piel. Esto no es inesperado, ya que se ha descubierto que los tratamientos con luz matan las bacterias al inducir daño en el ADN [71,72], producir especies oxidativas reactivas [73-75] y dañar las membranas celulares [76,77]. Sin embargo, los resultados varían y algunos estudios no informan cambios significativos. Estas discrepancias sugieren que los efectos de la fototerapia en el microbioma de la piel pueden verse influenciados por factores como las longitudes de onda de luz específicas utilizadas, la afección que se trata y las diferencias individuales de los pacientes.

Se sabe desde hace mucho tiempo que la etiología de afecciones de la piel como la psoriasis y la dermatitis atópica está relacionada con procesos inflamatorios locales en las lesiones cutáneas de los pacientes afectados. La fototerapia es una modalidad empleada por los dermatólogos para tratar lesiones modulando la inflamación local. Esto ha sido respaldado por numerosos estudios que demuestran la eficacia de la fototerapia para reducir los síntomas y mejorar la apariencia de la piel [78-80]. Sin embargo, esto presenta un aparente dilema. Si bien la fototerapia puede proporcionar un beneficio inmediato a estos pacientes, si la fototerapia altera el microbioma de la piel de manera perjudicial, esto puede potencialmente mitigar los beneficios a corto plazo.

Por ejemplo, Liu et al. (2021) encontraron que los pacientes sometidos a fototerapia para el acné mostraron aumentos en la abundancia de especies de *Staphylococcus* en las zonas de la piel tratadas [48]. Esto implica el potencial de disbiosis post-tratamiento, que irónicamente se ha relacionado con la dermatitis atópica. Por el contrario, algunos estudios, como el de Hooper et al. (2022), demostraron que el tratamiento con fototerapia UV en pacientes con linfoma cutáneo condujo a una disminución de las especies de *Staphylococcus*, mientras que Kwong et al. encontró que el tratamiento resultó en una mayor diversidad microbiana [41,43]. Esto indica que la fototerapia podría alterar negativamente el microbioma nativo o potencialmente restaurarlo, según el contexto y las condiciones tratadas. Se necesitan más investigaciones para dilucidar los mecanismos precisos por los cuales la fototerapia afecta el microbioma de la piel y determinar si la fototerapia realmente podría causar disbiosis y, de ser así, a qué nivel.

Además, las diferentes longitudes de onda de luz en la fototerapia pueden tener efectos variados en el microbioma, lo que requiere estudios para explorar estas variables. También se entiende generalmente que longitudes de onda específicas afectan a las bacterias de diferentes maneras, y las longitudes de onda ultravioleta y azul generalmente se consideran más destructivas que la luz roja o infrarroja [73,81-84]. Curiosamente, los estudios que revisamos sugieren que, en general, la terapia con luz ultravioleta produce un aumento en la diversidad microbiana y una disminución de bacterias patógenas como *S. aureus*, mientras que la terapia con láser, independientemente de la longitud de onda, conduce a una disminución de la densidad bacteriana en todas las especies analizadas [40-44,49,51-54,58,59,61]. Las razones de esto no están claras, pero pueden deberse a la amplificación óptica innata en la terapia con láser. Lubart et al. descubrió que la luz visible de bajo nivel es beneficiosa para el crecimiento bacteriano, mientras que la luz de alta intensidad mata las bacterias, lo que proporciona una posible explicación [73].

Nuestra revisión indica que los estudios sobre intervenciones dermatológicas distintas de la fototerapia en el microbioma de la piel han tenido un alcance comparativamente limitado y su efecto sobre el microbioma de la piel es menos claro. El único estudio sobre la perforación encontró un efecto significativo sobre la abundancia relativa de *S. epidermidis* y *C. acnes*, y los autores atribuyen esto al cambio a un ambiente local más húmedo después de la perforación [67]. Sin embargo, otros tratamientos físicos no lograron ver ningún cambio significativo. El desbridamiento fue particularmente sorprendente, ya que es un método para eliminar de la piel tejido no saludable, que a menudo contiene bacterias patógenas [85]. Esto puede deberse a que nuestro protocolo de inclusión arrojó solo un estudio sobre los efectos de este tratamiento. Del mismo modo, para las intervenciones químicas, solo la exfoliación con ácido salicílico (SA) tuvo un efecto significativo en el microbioma de la piel, al disminuir las especies excesivamente abundantes de *Staphylococcus* y *Propionibacterium* en pacientes disbióticos [63]. Anteriormente se ha demostrado que SA exhibe efectos inhibidores y bactericidas sobre *S. aureus* in vitro [86]. Este

puede indicar que el efecto modulador del microbioma en estas exfoliaciones químicas se debe al ingrediente activo (SA) y no al vehículo de exfoliación o a la acción de exfoliación física durante el tratamiento. Esto destaca la necesidad de estudios futuros que investiguen cómo las intervenciones físicas y químicas podrían conducir potencialmente a disbiosis y sus impactos a largo plazo en la piel de los pacientes. Por ejemplo, las diferentes composiciones químicas utilizadas en las exfoliaciones, como AHA, BHA, TCA y fenol, pueden afectar al microbioma de manera diferente. Es esencial realizar estudios de seguimiento exhaustivos para comprender los efectos prolongados de estas intervenciones.

Las interacciones microbianas también desempeñan un papel importante en la dinámica entre el microbioma de la piel y las intervenciones dermatológicas. Se ha demostrado previamente que *C. acnes* tiene una relación inversa con *S. epidermidis* [87,88]. Los estudios de Liu et al. y Xu et al. observaron disminuciones en *C. acnes* y aumentos en *S. epidermidis* después de la fototerapia y la perforación, respectivamente [48,67]. Este puede ser un ejemplo de una relación antagonista en la que la disminución de *C. acnes* fue causada por la intervención dermatológica inicial y el aumento de *S. epidermidis* fue concomitante y secundario a la disminución de la densidad de *C. acnes*.

Otra relación más amplia se encontró en dos estudios de fototerapia UV que mostraron una relación inversa entre la diversidad microbiana y *S. aureus* [41,43]. Esto puede sugerir que la fototerapia UV reduce los niveles de *S. aureus*, lo que permite mayores densidades de competidores de *S. aureus*. En general, la competencia entre especies influye en la composición del microbioma de la piel después del tratamiento.

Se incluyeron específicamente estudios que se centraron en intervenciones dermatológicas que eran de naturaleza procesal utilizando los códigos CPT® actuales de la AMA para dermatología como punto de partida. Esto proporcionó una base estandarizada para identificar qué procedimientos incluir. Se descartaron las intervenciones que consisten únicamente en ungüentos o cremas tópicos porque no están definidas en los códigos de procedimiento. Sin embargo, los estudios han encontrado que los antibióticos/antisépticos tópicos en particular han provocado cambios en el microbioma de la piel [89-91]. Del mismo modo, los esteroides tópicos como el tacrolimus también desempeñan un papel en la modulación del microbioma de la piel en pacientes con dermatitis atópica, y un estudio encontró que los tratamientos con tacrolimus dan como resultado aumentos en la diversidad del microbioma de la piel similar a la que se encuentra en individuos sanos [92]. Sin embargo, este estudio fue limitado debido al bajo tamaño de la muestra. Se deben realizar estudios adicionales para dilucidar el alcance completo de los efectos de las cremas y ungüentos tópicos sobre el microbioma de la

De nuestras 21 categorías iniciales derivadas del código CPT®, solo se representaron desbridamiento, tatuajes, micropigmentación, electrocirugía, fototerapia, cirugía láser y exfoliación química, y las máscaras de colágeno se encontraron de manera incidental. Esta brecha indica una necesidad significativa de investigación en una gama más amplia de procedimientos dermatológicos. Específicamente, procedimientos como la crioterapia, que altera drásticamente la temperatura de las superficies cutáneas específicas, podrían tener grandes impactos en la microbiota local. Otras áreas de posible investigación incluyen, entre otras, dermoabrasión, injertos de piel, cauterización química y radiación.

El potencial del uso de intervenciones dermatológicas para alterar y restaurar intencionalmente un microbioma saludable es un área propicia para la exploración. Si se puede demostrar que ciertos procedimientos promueven un microbioma equilibrado y diverso, podrían usarse no solo para tratar patologías de la piel, sino también para mantener o mejorar la salud general de la piel.

Las intervenciones dermatológicas son medidas necesarias para el tratamiento de diversas afecciones de la piel; sin embargo, existe una necesidad crítica de evaluar sus impactos a largo y corto plazo en el microbioma de la piel, particularmente en lo que respecta al potencial de inducir disbiosis. Existe un gran vacío en el conocimiento sobre los efectos que muchos procedimientos dermatológicos tienen en el microbioma de la piel. Nuestra revisión destaca la complejidad de las relaciones conocidas, como lo demuestran las variadas respuestas observadas en las diferentes intervenciones. Por ejemplo, mientras que algunos estudios sugieren que ciertos tratamientos pueden conducir a cambios en la diversidad microbiana o en la abundancia de taxones específicos, otros indican un potencial para la restauración microbiana. También destaca la necesidad de realizar más investigaciones sobre procedimientos dermatológicos olvidados, como la crioterapia, los injertos de piel y la dermoabrasión. Investigaciones exhaustivas de seguimiento sobre si los procedimientos dermatológicos alteran el microbioma nativo y precipitan la disbiosis podrían mejorar la práctica clínica y optimizar los resultados de los pacientes en la atención dermatológica.

5. Limitaciones

Esta revisión se realizó según la metodología PRISMA-ScR; sin embargo, se utilizó una única base de datos, PubMed. Además, los datos extraídos de los estudios, específicamente los resultados, fueron de naturaleza cualitativa y descriptiva y, por lo tanto, es posible que se produzcan errores en la extracción exhaustiva. Sin embargo, se utilizaron dos revisores para mitigar el error. Los términos de búsqueda utilizados para capturar los procedimientos dermatológicos pueden no ser completos; sin embargo, fueron adaptados de los códigos CPT® de dermatología de la AMA, que es el estándar de oro para definir los procedimientos médicos.

Contribuciones de los autores: Conceptualización, JRE y EJP; metodología, JRE y EJP; validación, JRE, EJP y LMT; análisis formal, JRE, EJP y LMT; investigación, JRE y EJP; recursos, JRE y EJP; curación de datos, JRE y EJP; redacción: preparación del borrador original, JRE y EJP; redacción: revisión y edición, JRE, EJP, LMT, RLM, VG, AW y DS; visualización, JRE, EJP y RLM; supervisión, JRE y DS; administración del proyecto, JRE y DS. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Financiamiento: Esta investigación no recibió financiamiento externo.

Agradecimientos: Agradecemos a Cedric Ward por su apoyo moral durante todo el proyecto.

Conflictos de intereses: Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Referencias

- Kong, HH. Microbioma de la piel: conocimientos basados en la genómica sobre la diversidad y el papel de los microbios de la piel. *Tendencias Mol. Medicina*. 2011, 17, 320–328. [\[Referencia cruzada\]](#)
- Ying, S.; Zeng, D.-N.; Chi, L.; Bronceado, Y.; Galzote, C.; Cardona, C.; Lax, S.; Gilbert, J.; Quan, Z.-X. La influencia de la edad y el género en las comunidades microbianas asociadas a la piel en poblaciones humanas urbanas y rurales. *MÁS UNO* 2015, 10, e0141842. [\[Referencia cruzada\]](#)
- Dimitriu, PA; Iker, B.; Malik, K.; Leung, H.; Mohn, WW; Hillebrand, GG. Nuevos conocimientos sobre los factores intrínsecos y extrínsecos que dan forma al microbioma de la piel humana. *mBio* 2019, 10, e00839-19. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Skowron, K.; Bauza-Kaszewska, J.; Kraszewska, Z.; Wiktorczyk-Kapischke, N.; Grudlewska-Buda, K.; Kwiecińska-Piróg, J.; Walecka-Zacharska, E.; Radtke, L.; Gospodarek-Komkowska, E. Microbioma de la piel humana: impacto de los factores intrínsecos y extrínsecos en la microbiota de la piel. *Microorganismos* 2021, 9, 543. [\[CrossRef\]](#)
- Scharschmidt, TC; Fischbach, MA. Lo que vive en nuestra piel: ecología, genómica y oportunidades terapéuticas del microbioma de la piel. *Descubrimiento de drogas. Hoy Dis. Mec.* 2013, 10, e83–e89. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Kong, HH; Segre, JA. Microbioma de la piel: mirar hacia atrás para avanzar. *J. Investigar. Dermatol.* 2012, 132, 933–939. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Vijaya Chandra, SH; Srinivas, R.; Dawson, TL; Común, JE. *Malassezia* cutánea: ¿comensal, patógeno o protector? Frente. *Celula. Infectar. Microbiol.* 2021, 10, 614446. [\[Referencia cruzada\]](#)
- Schommer, NN; Gallo, RL. Estructura y función del microbioma de la piel humana. *Tendencias Microbiol.* 2013, 21, 660–668. [\[Referencia cruzada\]](#)
- Foley, R.; Kelly, P.; Gatault, S.; Powell, F. Demodex: una piel residente en el hombre y su mejor amigo. *J. Eur. Acad. Dermatol. Venereol.* 2021, 35, 62–72. [\[Referencia cruzada\]](#)
- Lee, H.-J.; Kim, M. Función de barrera cutánea y microbioma. En *t. J. Mol. Ciencia*. 2022, 23, 13071. [\[Referencia cruzada\]](#)
- Claesen, J.; Spagnolo, JB; Ramos, SF; Kurita, KL; Byrd, Alabama; Aksekov, AA; Melnik, AV; Wong, WR; Wang, S.; Hernández, RD; et al. Un antibiótico *Cutibacterium* *Acnes* modula la composición de la microbiota de la piel humana en los folículos pilosos. *Ciencia. Traducción Medicina*. 2020, 12, eaay5445. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Belkaid, Y.; Segre, JA. Diálogo entre la microbiota cutánea y la inmunidad. *Ciencia* 2014, 346, 954–959. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Roesner, LM; Werfel, T.; Heratizadeh, A. El sistema inmunológico adaptativo en la dermatitis atópica e implicaciones en la terapia. *Experto Rev. Clin. Inmunol.* 2016, 12, 787–796. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Toyoda, M.; Morohashi, M. Patogenia del acné. *Medicina. Microscopía electrónica*. 2001, 34, 29–40. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Zheng, Y.; Cazar, RL; Villaruz, AE; Pescador, EL; Liu, R.; Liu, Q.; Cheung, GYC; Li, M.; Otto, M. El *Staphylococcus Epidermidis* comensal contribuye a la homeostasis de la barrera cutánea generando ceramidas protectoras. *Microbio huésped celular* 2022, 30, 301–313.e9. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Sultana, R.; McBain, AJ; O'Neill, CA. Aumento dependiente de la cepa de la función de barrera de unión estrecha en queratinocitos epidérmicos primarios humanos mediante lisados de *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*. *Aplica. Reinar. Microbiol.* 2013, 79, 4887–4894. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Percival, SL; Manuel, C.; Corte, KF; Williams, DW. Microbiología de la piel y el papel de las biopelículas en la infección. En *t. Herida J.* 2012, 9, 14–32. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)

18. Swaney, MH; Nelson, A.; Sandstrom, S.; Kalan, LR Preferencias de sudor y sebo de la microbiota de la piel humana. *Microbiol. Espectro*. 2023, 11, e04180-22. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
19. Townsend, CE; Kalan, LR El equilibrio dinámico del microbioma de la piel a lo largo de la vida. *Bioquímica. Soc. Trans.* 2023, 51, 71–86. [\[Referencia cruzada\]](#)
20. Youn, SH; Choi, CW; Choi, JW; Youn, SW El pH de la superficie de la piel y su diferente influencia en el desarrollo de la lesión del acné Según Género y Edad. *Res. piel. Tecnología*. 2013, 19, 131-136. [\[Referencia cruzada\]](#)
21. Wang, Y.; Kuo, S.; Shu, M.; Yu, J.; Huang, S.; Dai, A.; Dos, A.; Gallo, RL; Huang, C.-M. *Staphylococcus Epidermidis* en el microbioma de la piel humana media la fermentación para inhibir el crecimiento de *Propionibacterium Acnes*: implicaciones de los probióticos en el acné vulgar. *Aplica. Microbiol. Biotecnología*. 2014, 98, 411–424. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
22. Nodake, Y.; Matsumoto, S.; Miura, R.; Honda, H.; Ishibashi, G.; Matsumoto, S.; Dekio, I.; Sakakibara, R. Estudio piloto sobre un nuevo método de cuidado de la piel mediante aumento con *Staphylococcus epidermidis*, un microbio cutáneo autólogo: ensayo clínico aleatorizado y ciego. *J. Dermatol. Ciencia*. 2015, 79, 119-126. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
23. Andersson, T.; Ertürk Bergdahl, G.; Saleh, K.; Magnúsdóttir, H.; Stødkilde, K.; Andersen, CBF; Lundqvist, K.; Jensen, A.; Brüggemann, H.; Lood, R. Las bacterias comunes de la piel protegen a su huésped del estrés oxidativo a través del antioxidante secretado RoxP. *Ciencia. Rep.* 2019, 9, 3596. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
24. Callewaert, C.; Ravard Helffer, K.; Lebaron, P. Microbioma de la piel y su interacción con el medio ambiente. *Soy. J.Clin. Dermatol.* 2020, 21, 4-11. [\[Referencia cruzada\]](#)
25. Lijadoras, D.; Grunden, A.; Dunn, RR Una revisión de la microbiología de la ropa: la historia de la ropa y el papel de los microbios en Textiles. *Biol. Letón*. 2021, 17, 20200700. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
26. Smythe, P.; Wilkinson, HN El microbioma de la piel: panorama actual y oportunidades futuras. En t. *J. Mol. Ciencia*. 2023, 24, 3950. [\[Referencia cruzada\]](#)
27. Parque, J.; Schardt, Nuevo Hampshire; Jo, J.-H.; Zhang, Z.; Pillai, V.; Phang, S.; Brady, SM; Portillo, JA; MacGibeny, MA; Liang, H.; et al. Cambios en las comunidades de bacterias y hongos de la piel de niños sanos en transición a la pubertad. *J. Investigar. Dermatol.* 2022, 142, 212–219. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
28. Schneider, AM; Nolan, ZT; Banerjee, K.; Paine, AR; Cong, Z.; Gettle, SL; Longenecker, Alabama; Zhan, X.; Agak, GW; Nelson, AM Evolución del microbioma de la piel facial durante la pubertad en pieles normales y con acné. *J. Eur. Acad. Dermatol. Venereol.* 2023, 37, 166-175. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
29. Mazur, M.; Tomczak, H.; Lodyga, M.; Czajkowski, R.; Zaba, R.; Adamski, Z. El microbioma de la piel humana y su variabilidad en la psoriasis y la dermatitis atópica. *Adv. Dermatol. Alergol. Dermatol. Alergol.* 2021, 38, 205–209. [\[Referencia cruzada\]](#)
30. Gardiner, M.; Vicaretti, M.; Chispas, J.; Bansal, S.; Bush, S.; Liu, M.; Cariño, A.; Harry, E.; Burke, CM Un estudio longitudinal de la Piel diabética y microbioma de heridas. *PeerJ* 2017, 5, e3543. [\[Referencia cruzada\]](#)
31. Reiss, Z.; Rob, F.; Kolar, M.; Schierova, D.; Kreisinger, J.; Jackova, Z.; Roubalova, R.; Coufal, S.; Mihula, M.; Thon, T.; et al. La firma de la microbiota cutánea distingue a los pacientes con EII y refleja los eventos adversos de la piel durante la terapia anti-TNF. *Frente. Celula. Infectar. Microbiol.* 2023, 12, 1064537. [\[Referencia cruzada\]](#)
32. Arksey, H.; O'Malley, L. Estudios de alcance: hacia un marco metodológico. En t. *J. Soc. Res. Método*. 2005, 8, 19–32. [\[Referencia cruzada\]](#)
33. Levac, D.; Colquhoun, H.; O'Brien, KK Estudios de alcance: avances en la metodología. *Implementar. Ciencia*. 2010, 5, 69. [\[Referencia cruzada\]](#)
34. Powell, EJ; Ellis, JR Protocolo de revisión del alcance: cambios en las intervenciones posdermatológicas del microbioma de la piel. 2024. Disponible en línea: <https://www.protocols.io/view/scoping-review-protocol-changes-in-skin-microbiome-261ge53owg47/v2> (consultado el 16 de mayo de 2024).
35. Tricco, AC; Lillie, E.; Zarín, W.; O'Brien, KK; Colquhoun, H.; Levac, D.; Moher, D.; Peters, MDJ; Horsley, T.; Semanas, L.; et al. Extensión PRISMA para revisiones de alcance (PRISMA-ScR): lista de verificación y explicación. *Ana. Interno. Medicina*. 2018, 169, 467–473. [\[Referencia cruzada\]](#)
36. Turnbaugh, PJ; Ley, RE; Hamady, M.; Fraser-Liggett, CM; Caballero, R.; Gordon, JI El Proyecto Microbioma Humano. *Naturaleza* 2007, 449, 804–810. [\[Referencia cruzada\]](#)
37. Asociación Médica Estadounidense: CPT: Terminología procesal actual. Disponible en línea: <https://www.ama-assn.org/amaone/cpt-terminologia-procedimental-actual> (consultado el 17 de mayo de 2024).
38. Dol, J.; Tutelman, PR; Cámaras, CT; Barwick, M.; Drake, EK; Parker, JA; Parker, R.; Benchimol, EI; Jorge, RB; Witteman, Uso de las redes sociales por parte de los investigadores de salud de HO: revisión del alcance. *J. Med. Resolución de Internet*. 2019, 21, e13687. [\[Referencia cruzada\]](#)
39. Rathod, DG; Muneer, H.; Masood, S. Fototerapia. En *StatPearls*; StatPearls Publishing: Treasure Island, FL, EE. UU., 2024.
40. Park, J.-Y.; Kim, SM; Kim, J.-H. Eficacia de la fototerapia con luz excimer de 308 Nm para la disbiosis del microbioma cutáneo y la piel Disfunción de barrera en la dermatitis atópica canina. *Frente. Veterinario. Ciencia*. 2021, 8, 762961. [\[Referencia cruzada\]](#)
41. Kwon, S.; Choi, JY; Shin, J.-W.; Eh, C.-H.; Park, K.-C.; Du, MH; Yoon, S.; Na, J.-I. Cambios en la piel lesionada y no lesionada Microbioma durante el tratamiento de la dermatitis atópica. *Acta Derm. Venereol.* 2019, 99, 284–290. [\[Referencia cruzada\]](#)
42. Lossius, AH; Sundnes, O.; Ingham, CA; Edslev, SM; Bjørnholt, JV; Lilje, B.; Bradley, M.; Asad, S.; Haraldsen, G.; Skytt- Andersen, P.; et al. Cambios en la microbiota cutánea después del tratamiento con UVB en la dermatitis atópica en adultos. *Dermatología* 2022, 238, 109-120. [\[Referencia cruzada\]](#)

43. Hooper, MJ; Enríquez, GL; Veon, Florida; LeWitt, TM; Sweeney, D.; Verde, SJ; Semilla, PC; Choi, J.; Guitart, J.; Quemaduras, MB; et al. La respuesta ultravioleta B de banda estrecha en el linfoma cutáneo de células T se caracteriza por una mayor diversidad bacteriana y una reducción de *Staphylococcus aureus* y *Staphylococcus lugdunensis*. *Frente. Immunol.* 2022, 13, 1022093. [\[Referencia cruzada\]](#)
44. Yuan, X.; Wang, L.; Meng, D.; Wu, L.; Wang, X.; Zhang, D.; Luo, Z.; Pang, Y.; Liu, G. El impacto de NBUVB en el perfil de la comunidad microbiana en la piel lesionada de sujetos con vitiligo. *Microbio. Pato.* 2020, 140, 103943. [\[Referencia cruzada\]](#)
45. Guo, Y.; Zeng, M.; Yuan, Y.; Yuan, M.; Chen, Y.; Yu, H.; Liu, R.; Ruan, Z.; Xie, Q.; Jiao, X.; et al. La terapia fotodinámica trata el acné alterando la composición de la microbiota cutánea. *Res. piel. Tecnología.* 2022, 29, e13269. [\[Referencia cruzada\]](#)
46. Yang, Y.; Tao, S.; Zeng, R.; Zheng, H.; Ge, Y. Modulación del microbioma de la piel en pacientes con acné mediante terapia fotodinámica con ácido aminolevulínico. *Fotodiagnóstico Photodyn. El r.* 2021, 36, 102556. [\[Referencia cruzada\]](#)
47. Tao, S.; Wang, Z.; Quan, C.; Ge, Y.; Qian, Q. Los efectos de ALA-PDT sobre la microbiota en unidades pilosebáceas de pacientes con enfermedades graves. *Acné: un estudio metagenómico. Fotodiagnóstico Photodyn. El r.* 2021, 33, 102050. [\[Referencia cruzada\]](#)
48. Liu, J.; Liu, L.; Zhou, L.; Chen, L.; Chen, X.; Xiong, X.; Deng, Y. El efecto de la luz pulsada intensa sobre la microbiota cutánea y Barrera epidérmica en pacientes con acné vulgar de leve a moderado. *Cirugía con Láser. Medicina.* 2021, 53, 1348–1355. [\[Referencia cruzada\]](#)
49. Muñoz Declaración, S.; D'Alessandro, A.; Gori, A.; Cerasuolo, B.; Renzi, S.; Berlanda, M.; Zini, E.; Monici, M.; Cavalieri, D.; Zanna, G. Evaluación del impacto de la terapia con láser con sistema bloqueo de longitud de onda múltiple de infrarrojo cercano en el microbioma de la piel en perros atópicos. *Animales* 2024, 14, 906. [\[CrossRef\]](#)
50. Juzeniene, A.; Moan, J. Efectos beneficiosos de la radiación UV distintos de la producción de vitamina D. *Dermato-Endocrinología* 2012, 4, 109–117. [\[Referencia cruzada\]](#)
51. Assarsson, M.; Edtorp, A.; Dieno, O.; Söderman, J.; Seifert, O. Cambios significativos en el microbioma de la piel en pacientes con psoriasis en placas crónica después del tratamiento con ultravioleta de banda estrecha B. *Acta Derm. Venereol.* 2018, 98, 428–436. [\[Referencia cruzada\]](#)
52. Dotterud, LK; Wilsgaard, T.; Vorland, LH; Falk, ES El efecto de la radiación UVB sobre la microbiota cutánea en pacientes atópicos. *Dermatitis y controles saludables. En t. J. Salud Circumpolar* 2008, 67, 254–260. [\[Referencia cruzada\]](#)
53. Quemaduras, EM; Ahmed, H.; Isedeh, PN; Kohli, I.; Van der Pol, W.; Shaheen, A.; Muzaffar, AF; Al-Sadek, C.; Foy, TM; Abdel-gawwad, MS; et al. La radiación ultravioleta, tanto UVA como UVB, influye en la composición del microbioma de la piel. *Exp. Dermatol.* 2019, 28, 136–141. [\[Referencia cruzada\]](#)
54. Kurosaki, Y.; Tsurumachi, M.; Kamata, Y.; Tominaga, M.; Suga, Y.; Takamori, K. Efectos del tratamiento con luz excimer de 308 Nm en el microbioma de la piel de pacientes con dermatitis atópica. *Fotodermatol. Fotoinmunol. Fotomed.* 2020, 36, 185–191. [\[Referencia cruzada\]](#)
55. Glass, Fotobiomodulación de GE: una revisión de la evidencia molecular para la terapia de luz de bajo nivel. *J. Plast. Reconstr. Esteta. Cirugía.* 2021, 74, 1050–1060. [\[Referencia cruzada\]](#)
56. Biener, G.; Masson-Meyers, DS; Bumah, VV; Hussey, G.; Stoneman, señor; Enwemeka, CS; Raicu, V. El láser azul/violeta inactiva el *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina alterando su potencial transmembrana. *J. Fotoquímica. Fotobiol. B* 2017, 170, 118–124. [\[Referencia cruzada\]](#)
57. Masson-Meyers, DS; Bumah, VV; Biener, G.; Raicu, V.; Enwemeka, CS El efecto antimicrobiano relativo del LED azul de 405 Nm y del láser azul de 405 Nm sobre *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina in vitro. *Láseres Med. Ciencia.* 2015, 30, 2265–2271. [\[Referencia cruzada\]](#)
58. Parque, S.; Jang, H.; Seong, SH; Kim, JY; Lee, EJ; Bae, YJ; Ahn, YJ; Kim, J.; Oh, SH Los efectos de la terapia con láser de alejandrita de pulsación larga sobre el enrojecimiento facial y las composiciones de la microbiota cutánea en la rosácea: un ensayo clínico prospectivo, multicéntrico y de un solo brazo. *Fotodermatol. Fotoinmunol. Fotomed.* 2024, 40. [\[Referencia cruzada\]](#)
59. Rupel, K.; Zupin, L.; Ottaviani, G.; Bertani, I.; Martinelli, V.; Porrelli, D.; Vodret, S.; Vuerich, R.; Passos da Silva, D.; Bussani, R.; et al. La luz láser azul inhibe la formación de biopelículas in vitro e in vivo al inducir estrés oxidativo. *npj Biofilms Microbiomes* 2019, 5, 29. [\[CrossRef\]](#)
60. Shi, L.; Liu, P.; Liu, J.; Yang, Y.; Chen, Q.; Zhang, Y.; Zhang, H.; Wang, X. Aplicación del ácido 5-aminolevulínico fotodinámico. *Terapia en enfermedades comunes de la piel. Traducción Biofotónica* 2020, 2, e201900028. [\[Referencia cruzada\]](#)
61. Wang, Y.; Zhu, W.; Shu, M.; Jiang, Y.; Gallo, RL; Liu, Y.-T.; Huang, C.-M. La respuesta de las bacterias comensales de la piel humana como reflejo de la radiación UV: la UV-B disminuye la producción de porfirina. *PLoS ONE* 2012, 7, e47798. [\[Referencia cruzada\]](#)
62. Poorian, B.; Keyhan, SO; Chavoshinejad, M. Peeling químico. En *Procedimientos Integrados en Cirugía Estética Facial*; Keyhan, SO, Fattahi, T., Bagheri, SC, Bohluli, B., Amirzade-Irani, MH, Eds.; Springer International Publishing: Cham, Suiza, 2021; págs. 413–420. ISBN 978-3-030-46993-1.
63. Shao, X.; Chen, Y.; Zhang, L.; Zhang, Y.; Ariyawati, A.; Chen, T.; Chen, J.; Liu, L.; Pu, Y.; Li, Y.; et al. Efecto de la exfoliación con ácido salicílico supramolecular al 30% sobre la microbiota cutánea y la inflamación en pacientes con acné vulgar de moderado a grave. *Dermatol. El r.* 2023, 13, 155–168. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
64. Bhardwaj, V.; Controlador, MZ; Mao, J.; Azadegan, C.; Panda, PK; Breunig, HG; Wenskus, I.; Díaz, I.; König, K. Una novedosa tecnología de exfoliación sinérgica de uso profesional para reducir la hiperpigmentación visible en la cara: evidencia clínica y comprensión mecanística mediante biología computacional y biopsia óptica. *Exp. Dermatol.* 2024, 33, e15069. [\[Referencia cruzada\]](#)
65. Janssens-Böcker, C.; Wiesweg, K.; Doberenz, C. La mascarilla en láminas de colágeno nativo mejora la salud y la apariencia de la piel: una solución integral. *Evaluación clínica exhaustiva. J. Cosmet. Dermatol.* 2024, 23, 1685–1702. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
66. Frommherz, L.; Reinholz, M.; Gürtler, A.; Stadler, P.-C.; Kaemmerer, T.; francés, L.; Clanner-Engelshofen, BM Efecto de los dispositivos de alta frecuencia in vitro: ¿un enfoque prometedor en el tratamiento del acné vulgar? *Un. Sujetadores. Dermatol.* 2022, 97, 729–734. [\[Referencia cruzada\]](#)
67. Xu, CCY; Lemoine, J.; Alberto, A.; Whirter, ÉM; Barrett, Asamblea Comunitaria RDH del Microbioma Perforante Humano. *Proc. R. Soc. B Biol. Ciencia.* 2023, 290, 20231174. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)

68. Yilmaz, DE; Sarmis, A.; Mutlu, MA; Oguz, H. ¿Los tatuajes corneales afectan la microbiota conjuntival? *Cután. Ocul. Toxicol.* 2024, 43, 46–51. [\[Referencia cruzada\]](#)
69. Verbanic, S.; Shen, Y.; Lee, J.; Diácono, JM; Chen, IA Predictores microbianos de curación y efecto a corto plazo del desbridamiento en el microbioma de heridas crónicas. *NPJ Biofilms Microbiomas* 2020, 6, 21. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
70. Shannon, CE Una teoría matemática de la comunicación. *Sistema de campana. Tecnología. J.* 1948, 27, 379–423. [\[Referencia cruzada\]](#)
71. Witkin, mutaciones inducidas por radiación EM y su reparación. *Ciencia* 1966, 152, 1345-1353. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
72. Epe, B.; Hegler, J.; Wild, D. Oxígeno singlete como especie finalmente reactiva en daño al ADN de *Salmonella Typhimurium* inducido por azul de metileno/luz visible. *Carcinogénesis* 1989, 10, 2019-2024. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
73. Lubart, R.; Lipovski, A.; Nitzan, Y.; Friedmann, H. Un posible mecanismo para el efecto bactericida de la luz visible. *Láser Térmico.* 2011, 20, 17-22. [\[Referencia cruzada\]](#)
74. de Jager, TL; Cockrell, AE; Du Plessis, SS Generación de especies reactivas de oxígeno inducida por luz ultravioleta. *Adv. Exp. Medicina. Biol.* 2017, 996, 15-23. [\[Referencia cruzada\]](#)
75. Lipovsky, A.; Nitzan, Y.; Gedanken, A.; Lubart, R. Muerte de bacterias inducida por luz visible en función de la longitud de onda: Implicaciones para la curación de heridas. *Cirugía con Láser. Medicina.* 2010, 42, 467–472. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
76. Hoenes, K.; Bauer, R.; Spellerberg, B.; Hessling, M. La fotoinactivación microbiana mediante luz visible produce una pérdida limitada de Integridad de la membrana. *Antibióticos* 2021, 10, 341. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
77. McKenzie, K.; Maclean, M.; Conceder, MH; Ramakrishnan, P.; MacGregor, SJ; Anderson, JG Los efectos de la luz de 405 Nm sobre la integridad de la membrana bacteriana determinados por ensayos de tolerancia a la sal y la bilis, fugas de material absorbente de rayos UV y etiquetado verde SYTOX. *Microbiología* 2016, 162, 1680–1688. [\[Referencia cruzada\]](#)
78. Wan, MT; Lin, JY Evidencia actual y aplicaciones de la terapia fotodinámica en dermatología. *Clínico. Cosmético. Investigando. Dermatol.* 2014, 7, 145–163. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
79. Wunsch, A.; Matuschka, K. Un ensayo controlado para determinar la eficacia del tratamiento con luz roja e infrarroja cercana en la satisfacción del paciente, la reducción de las líneas finas, las arrugas, la aspereza de la piel y el aumento de la densidad del colágeno intradérmico. *Fotomed. Cirugía Láser.* 2014, 32, 93-100. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
80. Ablon, G. Fototerapia con diodos emisores de luz. *J. Clin. Dermatol Estético.* 2018, 11, 21-27.
81. Kim, S.; Kim, J.; Lim, W.; Jeon, S.; Kim, O.; Koh, J.-T.; Kim, CS-S.; Choi, H.; Kim, O. Efectos bactericidas in vitro de la irradiación con diodos emisores de luz de longitud de onda de 625, 525 y 425 Nm (rojo, verde y azul). *Fotomed. Cirugía Láser.* 2013, 31, 554–562. [\[Referencia cruzada\]](#)
82. Enwemeka, CS; panadero, TL; Bumah, VV El papel de la luz ultravioleta y azul en la fotoerradicación de microorganismos. *J. Fotoquímica. Fotobiol.* 2021, 8, 100064. [\[Referencia cruzada\]](#)
83. Hadi, J.; Wu, S.; Brightwell, G. Luz azul antimicrobiana versus bacterias patógenas: mecanismo, aplicación en la industria alimentaria, Tecnologías de obstáculos y resistencia potencial. *Alimentos* 2020, 9, 1895. [\[CrossRef\]](#)
84. Galo, IDC; Prado, RP; Santos, WGD Fotoemisores de luz azul y roja como enfoque para inhibir *Staphylococcus aureus* y Crecimiento de *Pseudomonas aeruginosa*. *Braz. J. Biol.* 2021, 82, e231742. [\[Referencia cruzada\]](#)
85. Mancini, S.; Cuomo, R.; Poggialini, M.; D'Aniello, C.; Botta, G. Desbridamiento autolítico y manejo de la carga bacteriana con un vendaje hidroactivo oclusivo impregnado con polihexametileno biguanida. *Acta Bio Médica Atenei Parm.* 2017, 88, 409–413. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
86. Canción, X.; Li, R.; Zhang, Q.; Él es.; Wang, Y. Efecto antibacteriano y posible mecanismo de las microcápsulas de ácido salicílico contra *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*. En t. J. Medio Ambiente. *Res. Salud Pública* 2022, 19, 12761. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
87. Christensen, GJM; Scholz, CFP; Inglaterra, J.; Rohde, H.; Kilian, M.; Thürmer, A.; Brzuszkiewicz, E.; Lomholt, HB; Brüggemann, H. Antagonismo entre *Staphylococcus Epidermidis* y *Propionibacterium Acnes* y su base genómica. *Genoma de BMC.* 2016, 17, 152. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
88. Francuzik, W.; Franke, K.; Schumann, RR; Heine, G.; Gusano, M. *Propionibacterium Acnes* La abundancia se correlaciona inversamente con *Staphylococcus aureus*: datos del microbioma de la piel de dermatitis atópica. *Acta Derm. Venereol.* 2018, 98, 490–495. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
89. Fritz, SA; Wylie, Tennessee; Gula, H.; Hogan, PG; Boyle, MG; Muenks, CE; Sullivan, ML; Burnham, C.-AD; Wylie, KM Dinámica longitudinal de comunidades bacterianas de la piel en el contexto de la descolonización de *Staphylococcus aureus*. *Microbiol. Espectro.* 2022, 10, e02672-21. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
90. SanMiguel, AJ; Meisel, JS; Horwinski, J.; Zheng, Q.; Bradley, CW; Grice, EA Los agentes antisépticos provocan cambios a corto plazo, personalizados y específicos del sitio del cuerpo en las comunidades bacterianas de la piel residentes. *J. Investigar. Dermatol.* 2018, 138, 2234–2243. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
91. SanMiguel, AJ; Meisel, JS; Horwinski, J.; Zheng, Q.; Grice, EA Los tratamientos antimicrobianos tópicos pueden provocar cambios en las comunidades bacterianas residentes de la piel y reducir la colonización por competidores de *Staphylococcus aureus*. *Antimicrobiano. Agentes Chemother.* 2017, 61, e00774-17. [\[Referencia cruzada\]](#)
92. Wongpiyabovorn, J.; Soonthornchai, W.; Wilantho, A.; Palasuk, M.; Payungporn, S.; Sodsai, P.; Poomipak, W.; Weschawalit, S.; Ruchusatsawat, K.; Baillie, GS; et al. Efecto del tacrolimus sobre el microbioma cutáneo en la dermatitis atópica. *Alergia* 2019, 74, 1400–1406. [\[Referencia cruzada\]](#)

Descargo de responsabilidad/Nota del editor: Las declaraciones, opiniones y datos contenidos en todas las publicaciones son únicamente de los autores y contribuyentes individuales y no de MDPI ni de los editores. MDPI y/o los editores renuncian a toda responsabilidad por cualquier daño a personas o propiedad que resulte de cualquier idea, método, instrucción o producto mencionado en el contenido.