

Exosomas en piel: Potencial terapéutico

Exosomes in skin: Therapeutic potential

Rivera, Zulay; Ollarves, Victor; Rivera, Ingrid; Hagel, Isabel; Lugo, Dennis Alexander

 Zulay Rivera

unimelpublicaciones@gmail.com

Médico Especialista en Medicina Interna y Dermatología. Profesor Instructor de la Cátedra de Bioquímica de la Escuela de Medicina "José María Vargas". Facultad de Medicina. Universidad Central de Venezuela.

Unidad Médico Estética Láser (UNIMEL) Caracas, Venezuela.

 Victor Ollarves

drvictorlaser@gmail.com

Médico Especialista en Medicina Estética y Fotomedicina, Unidad Médico Estética Láser (UNIMEL). Caracas, Venezuela.

 Ingrid Rivera

draingridderma@gmail.com

Médico Especialista en Pediatría y Dermatología. Profesor Instructor cátedra de Farmacología, Escuela de Medicina "José María Vargas". Facultad de Medicina. Universidad Central de Venezuela.

Unidad Médico Estética Láser (UNIMEL). Caracas, Venezuela.

 Isabel Hagel

isabelhagel@gmail.com

Biólogo. Doctor en Ciencias Básicas. Profesor Agregado (Jubilado) Instituto de Biomedicina "Dr. Jacinto Convit". Facultad de Medicina. Universidad Central de Venezuela.

Unidad Médico Estética Láser (UNIMEL) Caracas, Venezuela.

 Dennis Alexander Lugo

deallugo@gmail.com

Especialista en Biología Molecular. Profesor Instructor Instituto de Biomedicina Dr. Jacinto Convit". Facultad de Medicina, Universidad Central de Venezuela.

Unidad Médico Estética Láser (UNIMEL) Caracas, Venezuela.

Revista Digital de Postgrado

Universidad Central de Venezuela, Venezuela

ISSN-e: 2244-761X

Periodicidad: Cuatrimestral

vol. 14, núm. 3, e433, 2025

revistadpgmeducv@gmail.com

Recepción: 02 de octubre de 2025

Aprobación: 13 de noviembre de 2025

DOI: <https://doi.org/10.37910/RDP.2025.14.3.e433>

Autor de correspondencia: unimelpublicaciones@gmail.com

Cómo citar: Rivera Z, Ollarves V, Rivera I, Hagel I, Lugo D.

Exosomas en piel: Potencial terapéutico. Rev. Digit Postgrado 2025; 14(3): e433.doi:10.37910/RDP.2025.14.3.e433

Los autores declaran que no hay ningún conflicto de interés y que no han recibido remuneración alguna por la participación de la elaboración del manuscrito.

Resumen: Dadas las funciones esenciales que desempeñan los exosomas en la piel, en este trabajo se explora su uso como herramientas terapéuticas y cosméticas para la regeneración tisular, la modulación de la inflamación y la ralentización del envejecimiento cutáneo. Esta investigación tiene como objetivo presentar las principales fuentes de estas vesículas y el uso en terapias cutáneas y en cosmética. Las fuentes primarias incluyen células madre progenitoras epidérmicas (EPSC), exosomas derivados de células de la papila dérmica (DPC-Exos) y células madre mesenquimales (MSC), en particular del tejido adiposo (AD-MSC). Se ha demostrado que los que son derivados de EPSC, mejoran la cicatrización de heridas diabéticas al regular la señalización de TGF β e influir en el comportamiento de fibroblastos y macrófagos. Los DPC-Exos desempeñan un papel en los ciclos de los folículos pilosos. Los que son derivados de MSC promueven la reepitelización, reducen la inflamación, estimulan la secreción de colágeno y elastina, y activan vías protectoras como SIRT1/Nrf2. En cosmética, los exosomas se utilizan en formulaciones tópicas (cremas, sérums, mascarillas) para la hidratación, protección y estimulación del colágeno de la piel. Estudios clínicos confirman que ayudan a mejorar la elasticidad, hidratación y textura de la piel, a la vez que reducen las cicatrices y los trastornos de la pigmentación. Además, se exploran sus aplicaciones para el rejuvenecimiento cutáneo y el control de la pigmentación, gracias a su capacidad para modular las vías de la melanogénesis. En general, los exosomas derivados de diversos tipos de células madre, son muy prometedores para aplicaciones terapéuticas y cosméticas, ofreciendo soluciones innovadoras para la cicatrización de heridas, el antienvjecimiento, los problemas de pigmentación y el crecimiento capilar.

Palabras clave: Exosomas, Enfermedades de la Piel, Herida, Capilar, Macrófagos, Fibroblastos.

Abstract: Considering the key roles that exosomes play in skin physiology, this paper explores their potential application as therapeutic and cosmetic agents for tissue regeneration, regulation of inflammation, and the deceleration of skin aging. This review aims to present the main sources of exosomes and their use in skin therapies and cosmetics. The primary sources include epidermal progenitor stem cells (EPSC), dermal papilla cell-derived exosomes (DPC-Exos), and mesenchymal stem cells (MSC), particularly from adipose tissue (AD-MSCs). EPSC-derived exosomes have been shown to enhance diabetic wound healing by regulating TGF β signaling and

influencing fibroblast and macrophage behavior. DPC-Exos play a role in hair follicle cycles. MSC-derived exosomes promote re-epithelialization, reduce inflammation, stimulate collagen and elastin secretion, and activate protective pathways like SIRT1/Nrf2. In cosmetics, exosomes are used in topical formulations (creams, serums, masks) for skin hydration, protection, and collagen stimulation. Clinical studies confirm that exosomes help improve skin elasticity, hydration, and texture, while reducing scars and pigmentation disorders. Additionally, exosomes are explored for skin rejuvenation and pigmentation control, thanks to their ability to modulate melanogenesis pathways. Overall, exosomes derived from various stem cell types hold great promise for therapeutic and cosmetic applications, offering innovative solutions for wound healing, anti-aging, pigmentation issues, and hair growth.

Keywords: Exosomes, Skin Diseases, Wound, Capillary, Macrophages, Fibroblasts.

INTRODUCCIÓN

La comunicación celular es clave para el desarrollo y mantenimiento del cuerpo humano. En la última década, las vesículas extracelulares (VE) han cobrado relevancia como mediadoras de esta función. Todas las células pueden interactuar con su entorno a través de VE, se han encontrado en fluidos corporales como sangre, orina, saliva y leche materna. Estas vesículas transportan ácidos nucleicos (ADN, ARNm y miARN), proteínas, lípidos, enzimas y otras moléculas funcionales cumpliendo diversos roles biológicos⁽¹⁾. Las VE se clasifican en tres grupos en cuanto a su tamaño y formación: exosomas (30-150 nm), microvesículas (100-1000 nm) y cuerpos apoptóticos (>1000 nm). Las microvesículas y los cuerpos apoptóticos se derivan de la membrana celular, mientras que los exosomas se generan en la membrana endosomal⁽¹⁾; en la piel, diversas células residentes e inmunitarias los liberan, con características funcionales y estructurales distintas⁽²⁾. Estos participan en múltiples procesos fisiológicos y patológicos, lo que les otorga un alto valor en aplicaciones diagnósticas, pronósticas y terapéuticas. Gracias a estas propiedades, su uso se explora activamente en el ámbito cosmético y médico para la regeneración tisular, la modulación de la inflamación y el retraso del envejecimiento cutáneo⁽³⁾.

Los exosomas se derivan de distintas fuentes celulares. Los derivados de células madre mesenquimales epidérmicas (EPSCs-Exo) son vesículas extracelulares que transportan proteínas, lípidos y ácidos nucleicos, y actúan como mensajeros celulares clave en la regeneración y reparación de la piel; existen evidencias de que mejoran la cicatrización de heridas diabéticas al estimular la proliferación y migración celular, modulando las vías TGFβ y PI3K/Akt⁽⁴⁾. Como otra fuente fundamental, los exosomas derivados de células de la papila dérmica (DPC-Exos) promueven el crecimiento del cabello al inducir la fase anágena (fase de crecimiento) y retrasar la fase catágena (fase de regresión) del folículo piloso. Esto los convierte en una terapia prometedora para la alopecia, al estimular la actividad de los folículos capilares⁽⁵⁾.

Por otra parte, los exosomas derivados de las células madre mesenquimales (MSC-exo) inducen la reepitelización de heridas cutáneas mediante la proliferación de células epiteliales y la activación de la secreción de colágeno y elastina de los fibroblastos⁽⁶⁾. Constituyen un sistema adecuado de transporte de moléculas desde las células madre mesenquimales (CMM) al tejido diana, con fines terapéuticos incluidos microRNA, genes, enzimas o fármacos seleccionados⁽⁶⁾. Desde el punto de vista funcional, se ha demostrado

que los MSC-exo son beneficiosos para la cicatrización de heridas cutáneas y aceleran el proceso a través de diversos mecanismos, incluyendo la disminución de la inflamación, la promoción de la vascularización y el fomento de la proliferación y migración de células epiteliales y fibroblastos⁽⁷⁾, de esta manera favoreciendo la reparación del daño por foto envejecimiento.

Los exosomas de células madre mesenquimales, especialmente de cordón umbilical, (UC-MSC-exo) contienen factores que promueven la regeneración cutánea y retrasan el envejecimiento; actúan activando la vía SIRT1/Nrf2, lo que reduce inflamación y estrés oxidativo. La proteína 14-3-3 ζ presente en ellos aumenta la expresión de SIRT1 en queratinocitos, inhibiendo la autofagia y el daño por radiación ultravioleta (UV). Además, activan la vía de señalización AKT para evitar la apoptosis térmica, y bloquean la translocación del factor inductor de la apoptosis (AIF), protegiendo a las células. También, inducen PARP-1, favoreciendo la reparación del ADN y la proliferación de los queratinocitos.⁽⁸⁾

Finalmente, los exosomas derivados de células madre mesenquimales del tejido adiposo (AD-MSC), contienen una amplia variedad de mediadores que facilitan la comunicación intercelular y promueven procesos regenerativos. Entre ellos se encuentran citoquinas antiinflamatorias como IL-6, IL-10 e IL-27, así como factores de crecimiento y angiogénicos como VEGF, FGF, IGF-1 y HGF. También, contienen inhibidores de metaloproteinasas como TIMP-1 y TIMP-3, que regulan la remodelación de la matriz extracelular. Además, estos exosomas están enriquecidos con microARNs y ARN largos no codificantes, como miR-19b, H19 y GAS5, que modulan vías de señalización clave como Wnt/ β -catenina; también y activan rutas protectoras frente al estrés oxidativo y metabólico, como Nrf2/HO-1, SIRT3 y ROCK1-PTEN, contribuyendo así a la protección celular, la reparación cutánea y la homeostasis tisular, la mayoría de las funciones de las AD-MSC se atribuyen a sus exosomas.⁽⁶⁾ Similar a las células madres mesenquimales, tienen un papel importante en la regulación del proceso de fotoenvejecimiento.⁽⁸⁾ En la Figura 1 se muestra las diferentes funciones de los exosomas dependiendo de su fuente.

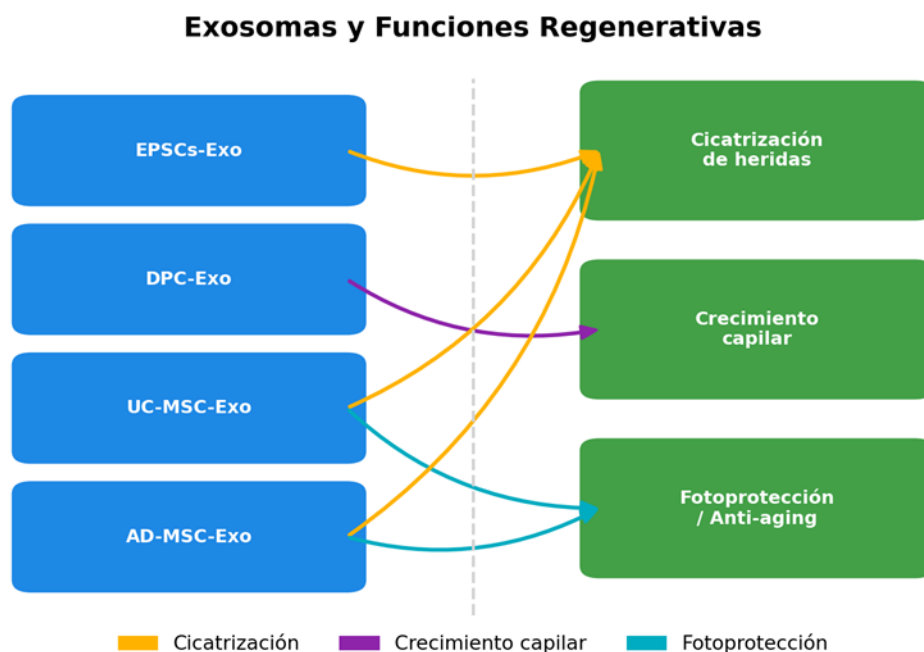


FIGURA 1.
Funcionalidad de los exosomas acorde a su fuente

Exosomas en el cuidado de la piel: Usados en cremas, sueros y mascarillas, benefician el cuidado de la piel al estimular el colágeno, reducir la inflamación y proteger contra agresiones ambientales. También, potencian la eficacia de activos como ácido hialurónico, péptidos y antioxidantes.⁽⁹⁾ Dependiendo de las condiciones

y el microambiente en donde son depositados, los exosomas actúan a través de distintas vías moleculares que conducen a distintos procesos regenerativos. (Figura 2).

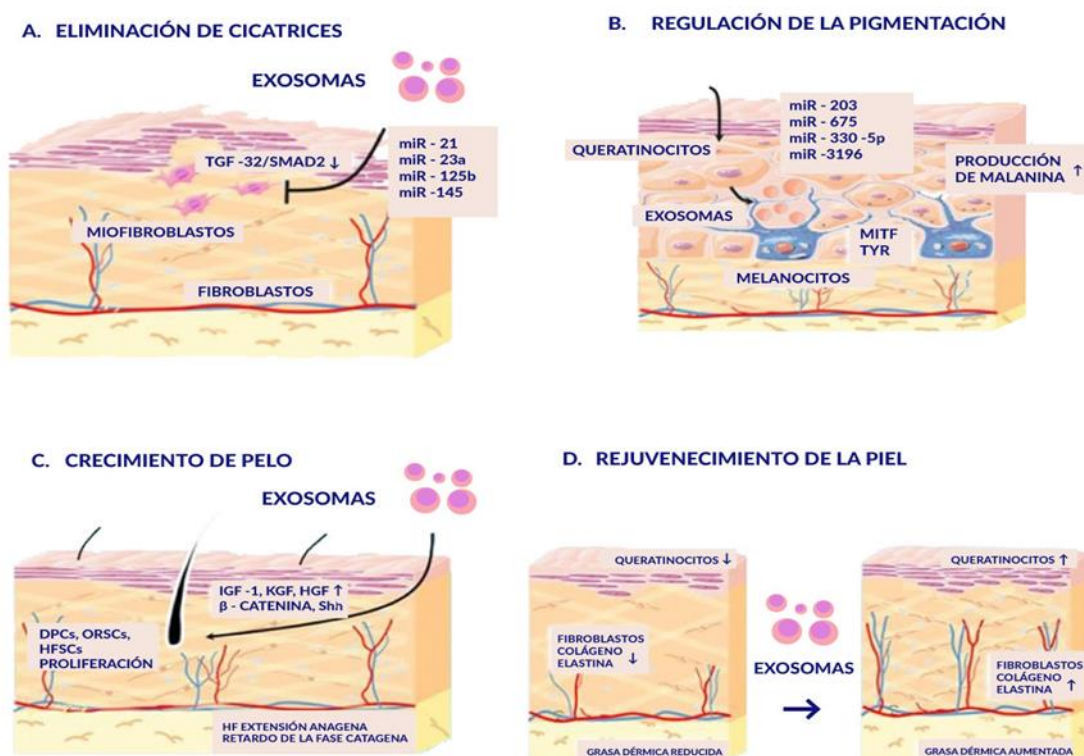


FIGURA 2.

Mecanismos moleculares estimulados por los exosomas en distintas condiciones dermatológicas y cosméticas. Fuente adaptado de Xiong et al., 2021.⁽¹⁰⁾

Remodelación de cicatrices: La formación de cicatrices, común tras lesiones cutáneas, está influida por factores como exceso de colágeno, menor apoptosis de fibroblastos, inflamación prolongada, angiogénesis excesiva y alta expresión de TGF- β 1. Los exosomas de células madre epidérmicas contienen microARN (Figura 2 A) que inhiben la diferenciación de miofibroblastos al reducir TGF- β 1 en fibroblastos dérmicos, ayudando a prevenir cicatrices.⁽¹¹⁾

Resultados en estudios clínicos se ha demostrado que la terapia con exosomas es eficaz para eliminar cicatrices.^(12,13) Se evaluó el efecto del medio condicionado de células madre de tejido adiposo (ADSC-CM), rico en exosomas, combinado con láser fraccional de CO₂ (FxCR) en pacientes con cicatrices de acné y rejuvenecimiento facial. En 22 pacientes tratados, el ADSC-CM mejoró significativamente la satisfacción, hidratación, elasticidad y redujo la rugosidad, TEWL e índice de melanina. Además, los análisis histológicos mostraron un aumento en la densidad y distribución del colágeno y la elastina dérmica.⁽¹³⁾ En otro trabajo similar, se evaluó la eficacia clínica y la seguridad de los exosomas derivados de células madre de tejido adiposo como terapia adyuvante tras la aplicación de láser de CO₂ fraccionado para cicatrices de acné.⁽¹²⁾ Se realizó un ensayo clínico doble ciego en 25 pacientes mediante láser de CO₂ fraccionado, un lado de la cara fue tratado con gel con exosomas de células madre de tejido adiposo y el otro con un gel control. El

tratamiento con exosomas estas vesículas mostró mayor mejoría clínica (32,5 % vs. 19,9 %), menor eritema y un tiempo de recuperación más corto, evidenciando mayor eficacia y seguridad. ⁽¹²⁾

Envejecimiento cutáneo: El envejecimiento cutáneo es una causa frecuente de consulta dermatológica y se debe a factores internos y externos como la radiación UV, contaminación y tabaquismo. El fotodaño reduce colágeno y fibras elásticas, provocando arrugas, sequedad y pérdida de firmeza; además, aumenta la actividad de metaloproteinasas (MMP) y disminuyen los fibroblastos, afectando la regeneración de la matriz dérmica. ⁽¹⁴⁾ Los exosomas, en su capacidad de modular la comunicación célula-célula y algunas funciones de los fibroblastos (figura 2 D), han ganado mucha atención en los últimos años por su posible utilidad terapéutica en el rejuvenecimiento cutáneo en los últimos años; por ejemplo, en un trabajo se examinó la utilidad de la administración transdérmica de exosomas derivados de esferoides tridimensionales de fibroblastos dérmicos humanos (HDFs por sus siglas en inglés), los resultados mostraron un aumento de procólgeno tipo 1 y una menor expresión de MMP-1. ⁽¹⁵⁾ Otro estudio investigó el efecto de la aplicación de exosomas derivados de células madre pluripotentes inducidas humanas (iPSCs-Exos) en las HDF irradiadas con UVB (envejecidas) ⁽¹⁶⁾, demostrando que el pretratamiento con iPCS-Exos estos impedía el daño a las HDF disminuía la sobreexpresión de MMP y restauraba la expresión de colágeno tipo I, III y V. ⁽¹⁶⁾

En humanos hay muy pocos estudios. Por ejemplo, un estudio clínico aleatorizado de 12 semanas evaluó la eficacia de combinar exosomas derivados de células madre de tejido adiposo (HACS) con microagujas para tratar el envejecimiento facial; veintiocho pacientes recibieron tres sesiones (una cada tres semanas), aplicándolo HACS en un lado de la cara y solución salina en el otro como control: a las seis semanas del seguimiento final, se observó una mejoría significativa en el lado tratado con HACS según la Escala de Mejora Estética Global ($p = 0,005$). Evaluaciones objetivas con dispositivos como PRIMOS, Cutometer, Corneometer y Mark-Vu, mostraron mejoras en arrugas, elasticidad, hidratación y pigmentación. Los hallazgos histológicos confirmaron estos resultados, sin efectos adversos graves, respaldando la eficacia y seguridad del tratamiento. ⁽¹⁷⁾ En un estudio doble ciego, 40 pacientes con piel envejecida recibieron microneedling facial seguido de aplicación tópica de exosomas derivados de células madre mesenquimales placentarias o solución salina (control); se realizaron cuatro sesiones (días 0, 30, 60 y 90), con evaluación final al día 120: el grupo tratado con exosomas mostró mejoras significativas en tono, textura, poros, arrugas, pigmentación y vascularización ($p < 0,0001$). También, se observó una progresión constante en la satisfacción del paciente, frente a una baja satisfacción en el grupo control; no se reportaron efectos adversos, demostrando seguridad y eficacia del tratamiento. ⁽¹⁸⁾

Trastornos pigmentarios: La pigmentación cutánea depende del equilibrio entre queratinocitos y melanocitos, factores ambientales pueden causar una producción excesiva de melanina, generando manchas como melasma o léntigos. Algunos exosomas de queratinocitos, mediante micro RNA, regulan esta pigmentación modulando la vía del microftalmia (MITF) ⁽⁸⁾ (Figura 2 B). La función de los exosomas derivados de queratinocitos está influenciada por el fototipo y modulada por los rayos UVB. El factor de transcripción asociado a la microftalmia (MITF) es el factor de transcripción maestro en la melanogénesis, iniciando la transcripción de los genes que codifican la tirosinasa (TYR), TYRP-1 y TYRP-2. Se ha demostrado que el miARN203 regula la pigmentación en células de melanoma y melanocitos normales al atacar TYR sin efecto sobre (MITF). ⁽⁸⁾ En estudios clínicos se ha evidenciado el efecto despigmentante de algunas fuentes de exosomas. Por ejemplo, se estudió el efecto antipigmentación in vitro y la eficacia aclaradora de la piel in vivo de exosomas de células madre/estromales mesenquimales derivadas del tejido adiposo humano (exosomas ASC). ⁽¹⁹⁾ En este trabajo, los exosomas, aislados por filtración de flujo tangencial, redujeron la melanina intracelular en células B16F10 aun sin MSH α . En un ensayo doble ciego con voluntarios hiperpigmentados, una crema con exosomas de ASC disminuyó la melanina vs. placebo ($p < 0,05$), aunque el efecto fue limitado y se perdió con el tiempo. Una mejora sostenida exigiría una administración transdérmica más eficiente, hoy restringida por la normativa vigente. ⁽¹⁹⁾

Crecimiento del pelo: La pérdida de pelo atribuida a alopecia no cicatricial, como la alopecia androgenética (AGA) o la alopecia areata (AA), representa una fuente importante de enfermedad y carga psicológica para pacientes de todas las edades. Exosomas derivados de la papila dérmica (DPC-exos) pueden regular el

crecimiento de los folículos pilosos en diferentes etapas y fomentar la proliferación y diferenciación de las células de la vaina de la raíz externa (ORSC por sus siglas en inglés) (Figura 2 C). Resultados provenientes de estudios experimentales han mostrado que los DPC-exos aumentan la expresión del Factor de Crecimiento similar a la Insulina (IGF-1), Factor de Crecimiento de los Queratinocitos (KGF) y el Factor de Crecimiento de los Hepatocitos (HGF), los cuales mejoran la proliferación y migración de ORSC, además de acelerar la aparición de los ciclos capilares anágenos y retrasar los catágenos ⁽²⁰⁾. También, hay evidencias de la eficacia potencial de las terapias con células madre derivadas del tejido adiposo para inducir un crecimiento significativo del cabello en pacientes tanto con alopecia areata como alopecia androgénica. ⁽²¹⁾ Resultados similares se han observado utilizando extractos de proteínas secretadas que contienen exosomas y otras vesículas extracelulares (EV). ⁽²¹⁾ En la práctica clínica, en una serie de casos, se revisaron los registros de 39 pacientes con pérdida de cabello de leve a moderada que recibieron tratamiento con exosomas estas vesículas. ⁽²²⁾ Los exosomas purificados a partir de ADSC se aplicaron tópicamente ($>6 \times 10^{10}$ partículas/vial); cada aplicación se administró con un rodillo de microagujas una vez por semana durante 12 semanas. ⁽²²⁾ En el seguimiento, se observaron mejoras significativas en la densidad del cabello (146,6 cabellos/cm² vs. 121,7 cabellos/cm²) y el grosor del cabello (61,4 μ m vs. 52,6 μ m). No hubo efectos dependientes de la edad o la duración de la pérdida de pelo sobre la respuesta al tratamiento. Sin embargo, en este estudio no se pudo excluir la posibilidad de un crecimiento espontáneo del pelo debido a la falta de control. ⁽²²⁾

Disponibilidad de productos basados en Exosomas: En los últimos años, los exosomas derivados de células madre han comenzado a incorporarse en productos cosméticos y terapéuticos, aprovechando sus propiedades regenerativas; estos productos, disponibles comercialmente, suelen combinarse con cremas, sueros y otros vehículos tópicos para el cuidado diario de la piel. En el mercado, existen varios productos cosméticos para el cuidado diario de la piel que contienen exosomas derivados de diferentes fuentes de celulares; estos productos aprovechan su potencial regenerativo de los exosomas para mejorar la salud y apariencia de la piel. ⁽²³⁾

CONCLUSIONES

Los exosomas son una potencia emergente en la estética médica cutánea. Su multifuncionalidad ha demostrado ser muy prometedora en ampliar las opciones terapéuticas para diversas patologías. Sin embargo, actualmente no existe ningún protocolo estandarizado para el aislamiento, y almacenamiento o identificación de los exosomas. No hay un protocolo de dosificación estándar. Por otra parte, los ensayos clínicos en humanos son muy pocos y apenas comienzan a proporcionar información sobre la verdadera seguridad y eficacia, por lo que su uso debe ser realizado con precaución.

REFERENCIAS

1. Raposo G, Stoorvogel W. Extracellular vesicles: Exosomes, microvesicles, and friends. *Journal of Cell Biology* [Internet] 2013 [cited 2025 Jun 9]; 200(4):373–383. Available from: www.jcb.org/cgi/doi/10.1083/jcb.201211138CB373
2. Kalluri R, LeBleu VS. The biology, function, and biomedical applications of exosomes. *Science* (1979) [Internet] 2020 [cited 2025 Jun 9]; 367(6478). Available from: [/doi/pdf/10.1126/science.aau6977](https://doi/pdf/10.1126/science.aau6977)
3. Harishkumar M, Radha M, Yuichi N, Muthukalianan GK, Kaoru O, Shiomori K, et al. Designer Exosomes: Smart Nano-Communication Tools for Translational Medicine. *Bioengineering* 2021, Vol 8, Page 158 [Internet] 2021 [cited 2025 Jun 9]; 8(11): 158. Available from: <https://www.mdpi.com/2306-5354/8/11/158/htm>
4. Wang P, Theocharidis G, Vlachos IS, Kounas K, Lobao A, Shu B, et al. Exosomes Derived from Epidermal Stem Cells Improve Diabetic Wound Healing. *Journal of Investigative Dermatology* [Internet] 2022 [cited

- 2025 Jun 9]; 142(9): 2508-2517.e13. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022202X22001191>
5. Gangadaran P, Rajendran RL, Kwack MH, Jeyaraman M, Hong CM, Sung YK, et al. Application of Cell-Derived Extracellular Vesicles and Engineered Nanovesicles for Hair Growth: From Mechanisms to Therapeutics. *Front Cell Dev Biol* [Internet] 2022 [cited 2025 Jun 9]; 10:963278. Available from: www.frontiersin.org
6. Kose O, Botsali A, Caliskan E. Role of exosomes in skin diseases. *J Cosmet Dermatol* [Internet] 2022 [cited 2025 Jun 9]; 21(8): 3219–3225. Available from: [/doi/pdf/10.1111/jocd.15152](https://doi.org/10.1111/jocd.15152)
7. Hu JC, Zheng CX, Sui BD, Liu WJ, Jin Y. Mesenchymal stem cell-derived exosomes: A novel and potential remedy for cutaneous wound healing and regeneration. *World J Stem Cells* [Internet] 2022 [cited 2025 Jun 9]; 14(5): 318. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9157601/>
8. Wang Y, Shen X, Song S, Chen Y, Wang Y, Liao J, et al. Mesenchymal stem cell-derived exosomes and skin photoaging: From basic research to practical application. *Photodermatol Photoimmunol Photomed* [Internet] 2023 [cited 2025 Jun 9]; 39(6):5 56–566. Available from: [/doi/pdf/10.1111/phpp.12910](https://doi.org/10.1111/phpp.12910)
9. Ku YC, Omer Sulaiman H, Anderson SR, Abtahi AR. The Potential Role of Exosomes in Aesthetic Plastic Surgery: A Review of Current Literature. *Plast Reconstr Surg Glob Open* [Internet] 2023 [cited 2025 Jun 9]; 11(6). Available from: https://journals.lww.com/prsgo/fulltext/2023/06000/the_potential_role_of_exosomes_in_aesthetic.15.aspx
10. Xiong M, Zhang Q, Hu W, Zhao C, Lv W, Yi Y, et al. The novel mechanisms and applications of exosomes in dermatology and cutaneous medical aesthetics. *Pharmacol Res* [Internet] 2021 [cited 2025 Jun 17]; 166: 105490. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1043661821000748>
11. Duan M, Zhang Y, Zhang H, Meng Y, Qian M, Zhang G. Epidermal stem cell-derived exosomes promote skin regeneration by downregulating transforming growth factor- β 1 in wound healing. *Stem Cell Res Ther* [Internet] 2020 [cited 2025 Jun 9]; 11(1): 1–11. Available from: <https://link.springer.com/articles/10.1186/s13287-020-01971-6>
12. Kwon HH, Yang SH, Lee J, Park BC, Park KY, Jung JY, et al. Combination Treatment with Human Adipose Tissue Stem Cell-derived Exosomes and Fractional CO₂ Laser for Acne Scars: A 12-week Prospective, Double-blind, Randomized, Split-face Study. *Acta Derm Venereol* [Internet] 2020 [cited 2025 Jun 9]; 100(18): 5913. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9309822/>
13. Zhou BR, Zhang T, Bin Jameel AA, Xu Y, Xu Y, Guo SL, et al. The efficacy of conditioned media of adipose-derived stem cells combined with ablative carbon dioxide fractional resurfacing for atrophic acne scars and skin rejuvenation. *Journal of Cosmetic and Laser Therapy* [Internet] 2016 [cited 2025 Jun 9]; 18(3): 138–148. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3109/14764172.2015.1114638>
14. Fisher GJ, Wang B, Cui Y, Shi M, Zhao Y, Quan T, et al. Skin aging from the perspective of dermal fibroblasts: the interplay between the adaptation to the extracellular matrix microenvironment and cell autonomous processes. *J Cell Commun Signal* [Internet] 2023 [cited 2025 Jun 9]; 17(3): 523–529. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12079-023-00743-0>
15. Hu S, Li Z, Cores J, Huang K, Su T, Dinh PU, et al. Needle-Free Injection of Exosomes Derived from Human Dermal Fibroblast Spheroids Ameliorates Skin Photoaging. *ACS Nano* [Internet] 2019 [cited 2025 Jun 9]; 13(10): 11273–11282. Available from: [/doi/pdf/10.1021/acsnano.9b04384](https://doi.org/10.1021/acsnano.9b04384)
16. Bae YU, Son Y, Kim CH, Kim KS, Hyun SH, Woo HG, et al. Embryonic Stem Cell-Derived mmu-miR-291a-3p Inhibits Cellular Senescence in Human Dermal Fibroblasts Through the TGF- β Receptor 2 Pathway. *The Journals of Gerontology: Series A* [Internet] 2019 [cited 2025 Jun 9]; 74(9): 1359–1367. Available from: <https://dx.doi.org/10.1093/gerona/gly208>
17. Park GH, Kwon HH, Seok J, Yang SH, Lee J, Park BC, et al. Efficacy of combined treatment with human adipose tissue stem cell-derived exosome-containing solution and microneedling for facial skin aging: A 12-week prospective, randomized, split-face study. *J Cosmet Dermatol* [Internet] 2023 [cited 2025 Jun 9]; 22(12): 3418–3426. Available from: [/doi/pdf/10.1111/jocd.15872](https://doi.org/10.1111/jocd.15872)
18. Chernoff G. The Utilization of Human Placental Mesenchymal Stem Cell Derived Exosomes in Aging Skin: An Investigational Pilot Study. *J Surg*. 2021; 06(5): 1–10

19. Cho BS, Lee J, Won Y, Duncan DI, Jin RC, Lee J, et al. Skin Brightening Efficacy of Exosomes Derived from Human Adipose Tissue-Derived Stem/Stromal Cells: A Prospective, Split-Face, Randomized Placebo-Controlled Study. *Cosmetics* 2020, Vol 7, Page 90 [Internet] 2020 [cited 2025 Jun 9]; 7(4): 90. Available from: <https://www.mdpi.com/2079-9284/7/4/90/htm>
20. Yoo D, Jung SY, Go D, Park JY, You DG, Jung WK, et al. Functionalized extracellular vesicles of mesenchymal stem cells for regenerative medicine. *Journal of Nanobiotechnology* [Internet] 2025 [cited 2025 Jun 9]; 23(1): 1–20. Available from: <https://link.springer.com/articles/10.1186/s12951-025-03300-6>
21. Guo Y, Hu Z, Chen J, Zhang J, Fan Z, Qu Q, et al. Feasibility of adipose-derived therapies for hair regeneration: Insights based on signaling interplay and clinical overview. *J Am Acad Dermatol* [Internet] 2023 [cited 2025 Jun 9]; 89(4): 784–794. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0190962221029510>
22. ark BS, Choi HI, Huh G, Kim WS. Effects of exosome from adipose-derived stem cell on hair loss: A retrospective analysis of 39 patients. *J Cosmet Dermatol*. 2022; 21(5): 2282–4.
23. Davies OG, Williams S, Goldie K. The therapeutic and commercial landscape of stem cell vesicles in regenerative dermatology. *Journal of Controlled Release* [Internet] 2023 [cited 2025 Jun 9]; 353: 1096–1106. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168365922008392>