

Hot Science



Nanobiotecnología y envejecimiento: ¿una solución prometedora?

Nanobiotechnology and aging: a promising solution?

Oscar Fabián Osuna-Fonseca¹
Juan Armendáriz-Borunda²
Rebeca Escutia-Gutiérrez^{2*}

Resumen

El envejecimiento es causante de diversas enfermedades (Alzheimer, Parkinson, cáncer y afecciones cardíacas), y el riesgo de padecer dichas enfermedades puede aumentar o disminuir dependiendo de hábitos y exposición a diversos factores. Sin embargo, existen en la actualidad herramientas nanobiotecnológicas capaces de tratar de manera eficiente y precisa estas afecciones. A pesar de que aún no se perfeccionan estas técnicas, son bastante prometedoras a futuro, esperando que algún día estén al alcance de todos los sectores de la población.

Palabras clave: Envejecimiento, nanopartículas, fármacos.

Summary

Aging is the cause of various diseases (Alzheimer's, Parkinson's, cancer, and heart disease), and the risk of suffering from these diseases can increase or decrease depending on habits and exposure to various factors. However, nanobiotechnological tools can efficiently and precisely treat these conditions. Although these techniques have not yet been perfected, they hold great promise for the future, with the hope that they will be available to all sectors of the population in the future.

Keywords: Aging, nanoparticles, drugs.

¹Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Mazatlán, 82100, Sinaloa, México.

²Instituto de Biología Molecular en Medicina y Terapia Génica, Departamento de Biología Molecular y Genómica, Centro Universitario de Ciencias de la Salud, Universidad de Guadalajara, 44340, Guadalajara, México.

Autor para la correspondencia:
rebeca.escutia@academicos.udg.mx

¿Te imaginas un futuro en el que el envejecimiento no cause enfermedad ni deterioro? Un mundo en el que enfermedades asociadas a la edad, como el Alzheimer, el cáncer y las afecciones cardíacas, puedan prevenirse y tratarse con eficacia. Hace algunos años, esta idea parecía pertenecer al ámbito de la ciencia ficción, un sueño distante e inalcanzable. Sin embargo, ese futuro podría estar más cerca de lo que creemos. Los avances científicos, particularmente en el campo de la nanomedicina y la nanobiotecnología, están abriendo la puerta a una posibilidad revolucionaria: una vida en la que envejecer ya no implique inevitablemente el deterioro de la salud.

Esta revolución científica la debemos, principalmente, a una mayor comprensión de los mecanismos celulares y moleculares que provocan el envejecimiento en nuestro cuerpo. La ruta de investigación a seguir se centra en explorar y comprender a fondo estos mecanismos, con el objetivo de desarrollar herramientas y tecnologías de vanguardia, como nano-

partículas, edición genética y terapia celular. Estas innovaciones buscan actuar de manera precisa, interviniendo únicamente en los factores responsables del envejecimiento.

El presente artículo de divulgación nos permite, explorar cómo estas innovaciones están redefiniendo el concepto de envejecimiento y transformando nuestra percepción sobre él, al ofrecer la posibilidad de una vida más saludable y longeva. Si sientes curiosidad por los mecanismos que subyacen al proceso de la vejez o te interesa el potencial de las tecnologías “antiedad”, te invitamos a acompañarnos en esta fascinante búsqueda por la fuente de la juventud.

La ciencia detrás del envejecimiento

El envejecimiento es un proceso natural e inevitable, parte final de la experiencia humana. Entonces, ¿qué es lo que sucede en nuestro cuerpo cuando envejecemos? A un nivel celular y molecular, el envejecimiento está regido por una combinación de factores genéticos y ambientales, así como del estilo de vida de cada persona.

Uno de los mecanismos clave y más reconocidos del envejecimiento es el acortamiento de telómeros. Los cuales están conformados por secuencias repetitivas de ADN, están ubicados en las regiones terminales de los cromosomas, y su propósito es protegerlos de posibles daños que puedan afectar su integridad. El acortamiento de los telómeros es resultado de las numerosas divisiones a las que se someten las células a lo largo de nuestra vida, y a consecuencia de esto, las células van perdiendo, lentamente, su funcionamiento normal. ¿Será posible retrasar este proceso? Existe una enzima, llamada telomerasa, que se encarga de agregar más secuencias repetitivas de ADN en los telómeros, alargándolos de esta manera. Sin embargo, la mayoría de las células carece o tiene cantidades muy bajas de esta enzima, exceptuando a las células madre, las células germinales, y aquellas pertenecientes al sistema inmunológico. Considerando factores ajenos a nuestro cuerpo, existen medidas que podemos

tomar para retrasar la pérdida de telómeros, como tener una dieta rica en frutas y vegetales, realizar actividad física de forma regular, y dormir adecuadamente. No obstante, este proceso también puede acelerarse por factores ambientales, como la exposición constante a contaminantes del medio ambiente, entre ellos, el humo de los automóviles y del cigarro. En menor medida, la radiación ultravioleta presente en los rayos solares también puede dañar los telómeros de las células de la piel [1] (Figura 1).

Todas las células, inevitablemente, acabarán perdiendo sus telómeros. En ese punto, entran en un estado denominado como “quiescente”, en el cual dejan de dividirse para formar nuevas células. En su lugar, comienzan a acumularse en los tejidos, y a secretar moléculas que favorecen la inflamación. Esta situación deteriora progresivamente la función y capacidad regenerativa de los tejidos, lo que aumenta el riesgo de desarrollar diversas enfermedades [1].

Otro aspecto crucial a considerar es el estrés oxidativo, un desequilibrio que se produce cuando el organismo acumula un exceso de moléculas dañinas conocidas como radicales libres y no cuenta con suficientes antioxidantes para neutralizarlos.

Debido a su inestabilidad, los radicales libres pueden dañar a células y moléculas, como las proteínas y el ADN, afectando tanto a los telómeros como a otras estructuras importantes de las células. La cantidad de radicales libres y antioxidantes puede variar en función de distintos factores, entre ellos la dieta, ya que algunos antioxidantes pueden obtenerse a través de los alimentos.

El daño en el ADN provocado por los radicales libres puede ser revertido o reparado mediante diversos mecanismos. Sin embargo, cuando estos no ocurren de manera correcta, se presentan las complicaciones que favorecen el envejecimiento a nivel celular. Entre ellas se incluyen la presencia de células quiescentes, el aumento de la apoptosis (muerte celular programada) y la aparición de mutaciones, siendo

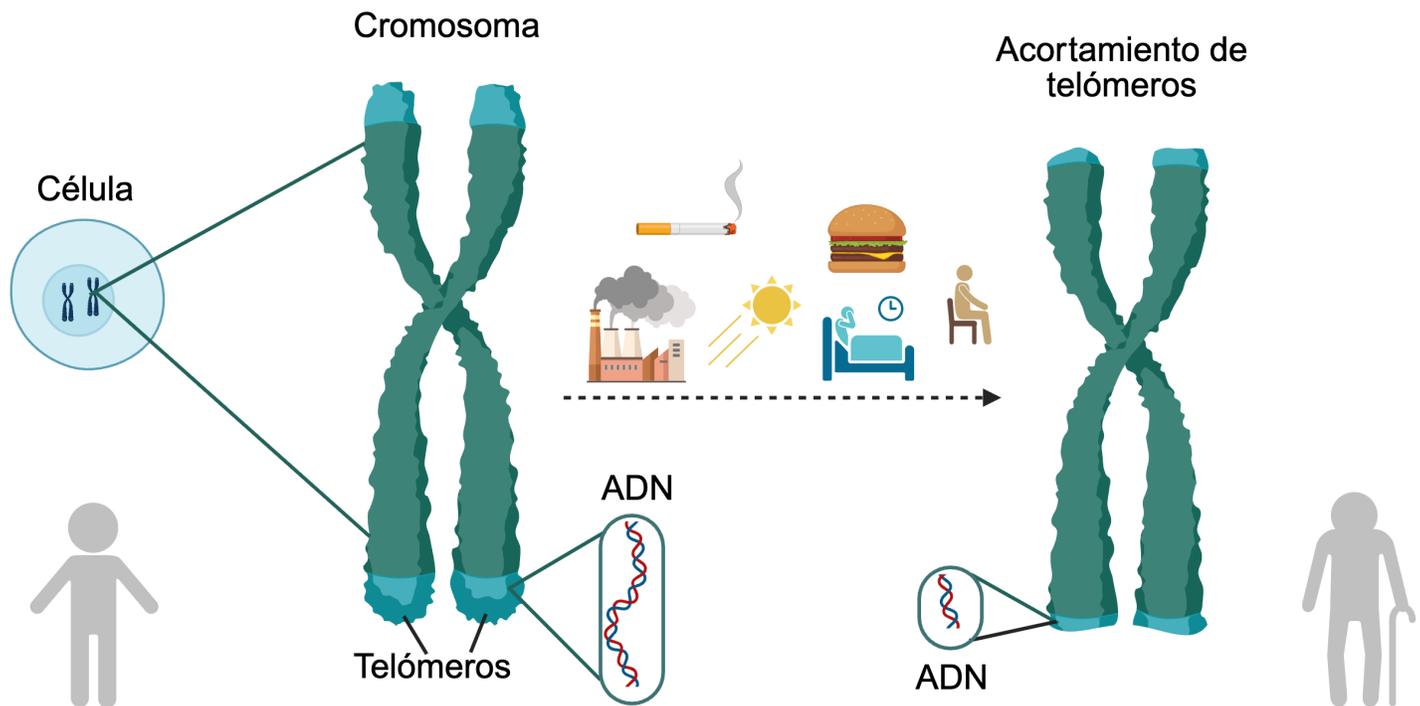


Figura 1. Acortamiento de telómeros. Los telómeros son estructuras protectoras en los extremos de los cromosomas que se acortan progresivamente con cada división celular. Factores como el estrés oxidativo, la inflamación crónica y el estilo de vida pueden acelerar este proceso. Cuando los telómeros alcanzan una longitud crítica, la célula pierde su capacidad de división, lo que contribuye al envejecimiento y al desarrollo de enfermedades asociadas, como trastornos cardiovasculares, neurodegenerativos y ciertos tipos de cáncer.

estas últimas las principales responsables del desarrollo del cáncer [1, 2].

Además del cáncer, existen otras enfermedades cuya incidencia aumenta con la edad. En los casos del Alzheimer y el Parkinson, ambas están relacionadas con errores en la formación y acumulación de proteínas específicas, así como con el mal funcionamiento de estructuras celulares, como las mitocondrias, que poseen ADN propio y, por lo tanto pueden presentar y acumular mutaciones (algunas más agresivas que otras) a lo largo del tiempo [3]. Es importante conocer estos factores antes de desarrollar estrategias dirigidas a abordar esta condición, como las que veremos a continuación.

Nanobiotecnología y nanomedicina

La nanobiotecnología nace como una fusión entre la biología y la nanotecnología, permite la creación de nanopartículas y su aplicación en sistemas biológicos. Su integración en el campo médico dio paso a la nanomedicina, justificada con el objetivo de brindar mejores diagnósticos y tratamientos más específicos,

buscando evitar los efectos adversos y priorizar el bienestar del paciente. Pero ¿de qué manera logra esto la nanomedicina? La respuesta se encuentra en el diseño y propiedades del amplio abanico de nanomateriales reportados en las últimas 3 décadas. El tamaño de las nanopartículas ha marcado un nuevo y novedoso campo de aplicaciones en el área médica, nanomateriales (con un tamaño menor a 100 nm), pueden ser conjugadas con distintos fragmentos estructurales (lípidos, polímeros, metales y cerámicos), capaces de transportar toda una variedad de moléculas o agentes terapéuticos. También pueden ser modificadas para unirse de manera más específica o con cierta afinidad a una amplia gama de receptores celulares o regiones que requieren del agente terapéutico, al agregarles anticuerpos que sean afines a células específicas. Esta característica las vuelve bastante prácticas de aplicar en el tratamiento de diversas afecciones. Otro aspecto relevante de un nanomaterial, por ejemplo, nanopartículas metálicas (de oro o plata), es la habilidad de liberar o transportar biomoléculas en dosis controladas de manera periódica, o en reacción

a los cambios del medio o sistema. Lo cual les brinda una mayor precisión y eficacia a diversos medicamentos, debido a la gran diversidad de nanomateriales existentes y considerando también sus estrategias de distribución, por ejemplo, mediante señalización pasiva o activa, como se describe en los trabajos de revisión elaborados por Dutt y colaboradores, Nirmala y colaboradores, y Chehelgerdi y colaboradores (2023) [4-6]. Las nanopartículas también protegen a los fármacos que contienen en su interior. Venkidasamy y colaboradores (2025) reportaron el uso de nanopartículas elaboradas con biopolímeros, las cuales presentan la ca-

pacidad de evitar la degradación de nutraceuticos y compuestos bioactivos, facilitando así su transporte y activación en el intestino [7]. Además, su reducido tamaño les permite atravesar las barreras biológicas con notable facilidad.

Una de las principales barreras biológicas que las nanopartículas pueden atravesar es la barrera hematoencefálica, la cual protege al cerebro de agentes potencialmente dañinos. Las nanopartículas adicionadas con una molécula de glucosa en su superficie tienen la capacidad de unirse a receptores presentes en esta barrera, facilitando su paso a través de esta,

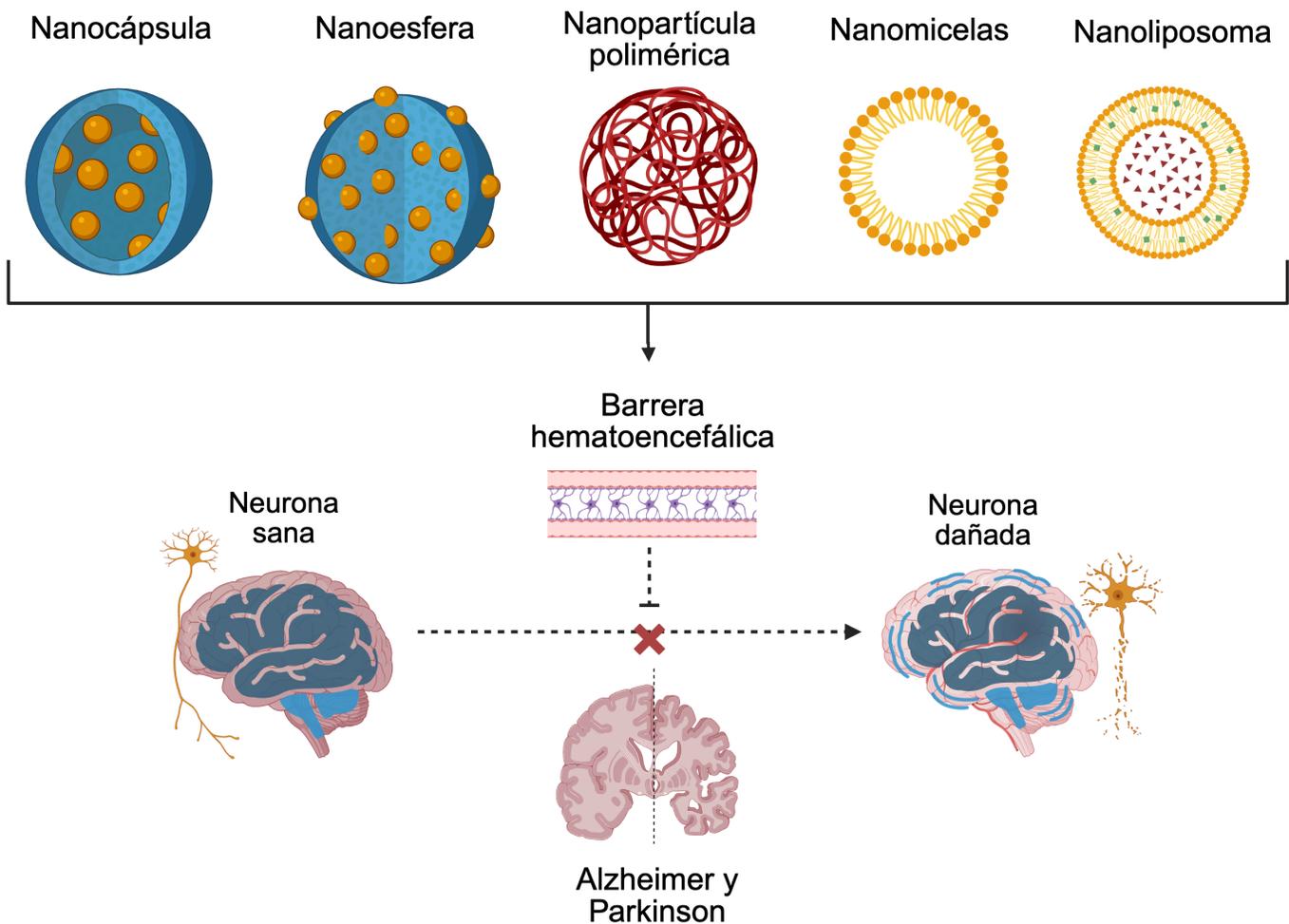


Figura 2. Nanomateriales para el tratamiento de Alzheimer y Parkinson. Los nanomateriales han sido diseñados con diversas aplicaciones terapéuticas para enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer y el Parkinson. Una de sus principales ventajas es su capacidad para atravesar la barrera hematoencefálica, lo que permite una administración más eficiente de fármacos directamente al sistema nervioso central. Esto mejora la biodisponibilidad de los tratamientos y potencia su efecto neuroprotector, ayudando a frenar el deterioro neuronal. Además, ciertos nanomateriales pueden actuar como sistemas de liberación controlada, reducir la toxicidad de los fármacos y favorecer la regeneración de tejidos, ofreciendo un enfoque innovador frente a las limitaciones de las terapias convencionales.

permitiendo su acumulación en diversas células cerebrales (neuronas, microglías y astrocitos) permitiendo tratar enfermedades como el Alzheimer, Parkinson y tumores cerebrales, sin afectar el tejido sano circundante [6] (Figura 2).

Es muy pronto para saber, a ciencia cierta, lo que ocurre con las nanopartículas en nuestro cuerpo una vez que han cumplido con su función, sin embargo, se conoce que algunos de estos compuestos pueden llegar a ser tóxicos, al alterar bioquímicamente el funcionamiento de las células (debido a que su tamaño extremadamente pequeño les permite interactuar con estructuras biológicas importantes), o al acumularse en hígado y otros órganos dependiendo de su destino y sobre todo dependiendo de las dosis utilizadas, ya que esto puede determinar si el efecto de las nanopartículas será protector o tóxico. Otro factor para considerar es la señalización pasiva, la cual tiende a afectar tejidos tanto sanos como enfermos. Además, puede generarse toxicidad celular si el fármaco encapsulado se libera antes de alcanzar su destino; para prevenir este fenómeno, se ha identificado que los polímeros, liposomas y micelas son algunas de las estructuras más eficaces [4]. Además, al igual que toda terapia o procedimiento deben pasar por numerosas regulaciones y pruebas en distintos modelos antes de llegar a ser comercializadas y estar disponibles a todo público [5].

Existen diversos medicamentos que podrían verse beneficiados con el desarrollo de la nanomedicina, debido a que su presentación farmacéutica o bien su forma de administración permite el diseño de novedosos prototipos nanotecnológicos. Gracias a los avances en el campo clínico-farmacéutico, se han desarrollado numerosos nanomateriales con aplicaciones en distintos tipos de fármacos. Un ejemplo de ello son los senolíticos. Estos fármacos eliminan únicamente a las células quiescentes (célula en reposo) y sus productos dañinos, esto al inducir mecanismos de muerte celular programada, al bloquear mecanismos que evitan la apoptosis en estas células, al afectar una proteína específica o afectar complejos de más

de una molécula (generalmente relacionadas con supervivencia celular).

Lo anterior puede mejorar la condición del Alzheimer al reducir el número de células quiescentes y la inflamación que producen, pueden tratar enfermedades relacionadas al corazón y la circulación, reducir la fragilidad de los huesos, contrarrestar la fibrosis, y reducir la progresión del cáncer. Al combinar estos fármacos con nanopartículas, es posible facilitar su llegada a las células quiescentes, las cuales, a diferencia de las células sanas, presentan niveles elevados de enzimas lisosomales (como respuesta al estrés celular) y expresan marcadores específicos como CD9, B2M, CD36 y CD47. Estas diferencias son fundamentales no solo para dirigir el tratamiento específicamente hacia las células quiescentes, sino también para evitar dañar las células sanas. Por ejemplo, las nanopartículas encapsuladas con bajo contenido de oligosacáridos, se liberan preferencialmente en células senescentes precisamente debido a estas características. En conjunto con otros medicamentos, esta innovación podría dar paso a mejores tratamientos [8, 9].

Consideraciones éticas y direcciones futuras

Para concluir con el tema, es importante mencionar las inquietudes que existen sobre la nanomedicina y la nanobiotecnología. Una de las principales preocupaciones recae sobre el uso responsable de las mismas, es decir, que se utilice con el único fin de prevenir y tratar enfermedades, y que no se aplique solo para aminorar los signos de la edad. Cabe mencionar, es necesario que sea accesible para la población, debido a que, de volverse exclusivo a un sector enriquecido de la población, se acrecentarían aún más las diferencias y conflictos entre diversos grupos sociales, pero esa cuestión pertenece más al área de las leyes que a un aspecto científico. Otro asunto por considerar es el manejo de las investigaciones que se lleven a cabo, las cuales deben ser íntegras, transparentes, y sin conflictos de interés, comunicando con claridad al público los avances o riesgos

que sean descubiertos.

La nanomedicina demuestra avances prometedores enfocados al tratamiento de enfermedades neurodegenerativas, como el Alzheimer. Se anticipa que, con los avances alcanzados en esta área particular del conocimiento, sea posible extender al tratamiento de otras enfermedades [5].

Si te pareció interesante este artículo sobre la aplicación de la nanomedicina y la nanobiotecnología en el envejecimiento, te invitamos a seguir aprendiendo acerca de estas nuevas ramas de la ciencia, a partir de artículos científicos que exploren sobre el tema. Es evidente que aún nos queda mucho por descubrir, y el futuro sigue siendo incierto. Por ello, es fundamental mantenernos bien informados sobre estas nuevas tecnologías, que podrían albergar, aún en desarrollo, la medicina del mañana. 

Referencias

- [1] López-Otín C, Blasco MA, Partridge L, Serrano M, Kroemer G. (2013). The hallmarks of aging. *Cell* 153(6):1194-217. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2013.05.039>
- [2] Dai, Y., Guo, Y., Tang, W. et al. (2024). Reactive oxygen species-scavenging nanomaterials for the prevention and treatment of age-related diseases. *J Nanobiotechnol* 22, 252. <https://doi.org/10.1186/s12951-024-02501-9>
- [3] Li Y, Xia X, Wang Y, Zheng JC. (2022). Mitochondrial dysfunction in microglia: a novel perspective for pathogenesis of Alzheimer's disease. *J Neuroinflammation* 19(1):248. <https://doi.org/10.1186/s12974-022-02613-9>
- [4] Dutt, Y., Pandey, R.P., Dutt, M. et al. (2023). Therapeutic applications of nanobiotechnology. *J Nanobiotechnol* 21, 148. <https://doi.org/10.1186/s12951-023-01909-z>
- [5] Nirmala, M. J., Kizhuveetil, U., Johnson, A., et al. (2023). Cancer nanomedicine: a review of nano-therapeutics and challenges ahead. *RSC Advances* 13, 8606-8629. <https://doi.org/10.1039/D2RA07863E>
- [6] Chehelgerdi, M., Chehelgerdi, M., Allela, O.Q.B. et al. (2023). Progressing nanotechnology to improve targeted cancer treatment: overcoming hurdles in its clinical implementation. *Mol Cancer* 22, 169. <https://doi.org/10.1186/s12943-023-01865-0>
- [7] Venkidasamy, B., Shelar, A., Dhanapal, A.R. et al. (2025). Emerging biopolymer nanocarriers for controlled

and protective delivery of food bioactive compounds-current status and future perspective, *Food Hydrocolloids* 160, Part 1, 110769. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110769>

[8] Chaib, S., Tchkonja, T., & Kirkland, J. L. (2022). Cellular senescence and senolytics: the path to the clinic. *Nature medicine*, 28(8), 1556–1568. <https://doi.org/10.1038/s41591-022-01923-y>

[9] Shi Y, Zhang Y, Zhang Y, Yao J, Guo J, Xu X, Wang L. (2024). Advances in Nanotherapy for Targeting Senescent Cells. *Int J Nanomedicine* 19:8797-8813. <https://doi.org/10.2147/IJN.S469110>