

NANOPARTÍCULAS DE SELENIO EN LA BIOMEDICINA: SÍNTESIS, PROPIEDADES Y APLICACIONES TERAPÉUTICAS.

SELENIUM NANOPARTICLES IN BIOMEDICINE: SYNTHESIS, PROPERTIES AND THERAPEUTIC APPLICATIONS

MORENO RODRÍGUEZ, Estefany Arisbeth¹

MÚZQUIZ RAMOS, Elia Martha¹

LÓPEZ DE LA PEÑA, Haydeé Yajaira²

LÓPEZ BADILLO, Claudia Magdalena¹

RESUMEN

Las nanopartículas de selenio (SeNP) han emergido como una alternativa prometedora en la biomedicina moderna gracias a su baja toxicidad, alta biocompatibilidad y multifuncionalidad terapéutica. Este artículo presenta una revisión general sobre su origen, métodos de síntesis y principales aplicaciones biomédicas. El selenio, elemento esencial para el organismo, adquiere propiedades mejoradas al reducirse a escala nanométrica, incrementando su biodisponibilidad y capacidad antioxidante. Las SeNP pueden obtenerse mediante diversas técnicas biológicas, químicas y físicas, siendo la biosíntesis la opción más sostenible y biocompatible. Además, su superficie funcionalizable permite su uso como vehículos inteligentes para la liberación dirigida de fármacos, con aplicaciones emergentes en medicina regenerativa y neuroprotección. En el ámbito médico, las SeNP destacan por su actividad anticancerígena, antioxidante, antimicrobiana, antidiabética y antiinflamatoria, actuando mediante la modulación de vías moleculares relacionadas con el estrés oxidativo y la apoptosis. En conjunto, las nanopartículas de selenio representan una plataforma versátil y sustentable con un gran potencial en el desarrollo de terapias más seguras, específicas y eficaces, consolidándose como una herramienta clave para la nanomedicina del futuro.

Palabras clave: selenio; nanopartículas; síntesis; aplicaciones biomédicas.

ABSTRACT

Selenium nanoparticles (SeNP) have emerged as a promising alternative in modern biomedicine due to their low toxicity, high biocompatibility, and therapeutic multifunctionality. This article provides a general overview of their

1. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila. Saltillo, Coahuila, México.
2. Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.

Correspondencia
cllopezb@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0001-6892-1541>
Fecha de recepción
26 de noviembre de 2025.
Fecha de aceptación
21 de agosto de 2026.

origin, synthesis methods, and main biomedical applications. Selenium, an essential element for the human body, acquires enhanced properties when reduced to the nanoscale, increasing its bioavailability and antioxidant capacity. SeNP can be obtained through various biological, chemical, and physical techniques, with biosynthesis being the most sustainable and biocompatible option. Moreover, their functionalizable surface allows their use as smart carriers for targeted drug delivery, with emerging applications in regenerative medicine and neuroprotection. In the medical field, SeNP stand out for their anticancer, antioxidant, antimicrobial, antidiabetic, and anti-inflammatory activities, acting through the modulation of molecular pathways related to oxidative stress and apoptosis. Overall, selenium nanoparticles represent a versatile and sustainable platform with great potential in the development of safer, more specific and effective therapies, establishing themselves as a key tool for the nanomedicine of the future.

Keywords: *selenium; nanoparticles; biomedical applications; synthesis.*

1. INTRODUCCIÓN

El selenio (Se) tiene una gran importancia en campos como la química, biología y física. En la naturaleza, el selenio puede encontrarse en forma de seleniuro y en menor cantidad como un elemento libre asociado con azufre elemental e hidrógeno (Hernández-Mendoza y Rios-Lugo, 2009). Se considera un elemento escaso pues la concentración de Se en la corteza terrestre es de 0.09 ppm y es posible encontrarlo en todos los suelos, tanto forestales como agrícolas (Acosta, 2007).

El selenio es un oligoelemento esencial para el organismo humano; una dieta libre conlleva un mal funcionamiento del hígado y procesos hemolíticos. La deficiencia de Se puede derivar en múltiples enfermedades, como la enfermedad de Kashin-Beck, trastornos neurológicos y enfermedades crónicas degenerativas (Huang et al., 2005; Pillai et al., 2014; Rayman, 2000).

Las investigaciones en nanotecnología permitieron encontrar una infinidad de aplicaciones para nanopartículas metálicas en biomedicina. Se han demostrado múltiples beneficios de las nanopartículas de plata (Ag) y oro (Au), sin embargo, su síntesis es más costosa en comparación con las nanopartículas de selenio (SeNP) (Zafar et al., 2003).



Las SeNP muestran un potencial prometedor como antioxidantes, agentes terapéuticos contra el cáncer y portadores de fármacos en aplicaciones biológicas (Forootanfar et al., 2014; Yu et al., 2012; Shakibaie et al., 2015). Entre todas las formas en que puede encontrarse el Se, la menos tóxica es el Se en su forma elemental, por lo que como nanopartículas han atraído aún más atención, además de que también se ha demostrado que las SeNP funcionalizadas exhiben menos citotoxicidad que otras de sus formas como el selenato, selenito, selenoproteínas y selenio inorgánico (Panahi-Kalamuei et al., 2014; Zhang et al., 2001; Zhang et al., 2008).

Múltiples reseñas acerca de las aplicaciones biológicas de las SeNP se centran en los métodos de síntesis (Ikram et al., 2021), por lo que el objetivo de este artículo es dar a conocer el panorama general de las nanopartículas de selenio, así como sus métodos de síntesis incluyendo sus ventajas y desventajas, dando un mayor énfasis en las aplicaciones de las SeNP en la biomedicina.

2. SELENIO

El selenio (Se) es uno de los elementos más ampliamente distribuidos sobre la corteza terrestre y rara vez está presente en materiales en concentraciones arriba de 500 µg/g. Gran parte del Se presente en la corteza se encuentra generalmente asociado con minerales sulfurosos o en forma de seleniuros de plata, cobre, plomo, mercurio y níquel otros metales (Acosta, 2007; Shamberger, 1981). La actividad volcánica también da origen al Se, acompaña al azufre y es posible encontrarlo en terrenos arcillosos (Acosta, 2007).

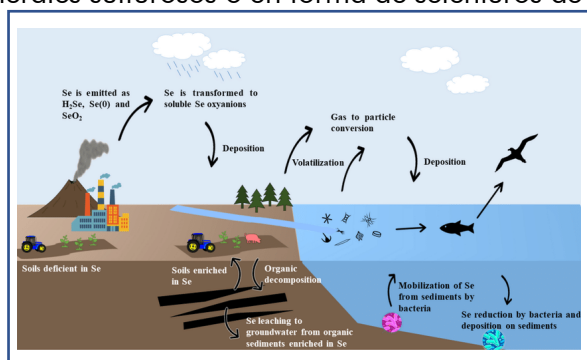


Figura 1. Ciclo biogeoquímico simplificado del Selenio.

(Petrović, M., 2021).

Ocupa el sexagésimo lugar en el orden de abundancia de los elementos, pues a pesar de que se encuentra distribuido a lo largo de toda la corteza terrestre, es un elemento bastante



CienciAcierta

escaso. Puede encontrarse en cantidades pequeñas pero detectables en todos los suelos o producirse como subproducto de la fabricación industrial de azufre y del ácido sulfúrico.

3. NANOPARTÍCULAS

La característica que define a todos los nanomateriales es el tamaño. A pesar de que es un concepto fácil de entender, es difícil de aplicar, pues no existen límites naturales, físicos o químicos que delimiten la nanoescala (Pandey & Dahiya, 2016). El rango de tamaño más utilizado en referencia a los nanomateriales va de 1 a 100 nm, pero no existe una línea clara que separe la nanoescala desde una perspectiva química o biológica (Boverhof et al., 2015).

3.1 NANOPARTÍCULAS DE SELENIO (SeNP)

El reciente auge en la nanotecnología proporcionó múltiples aplicaciones para las nanopartículas metálicas en la biomedicina pues ofrece ventajas únicas (Zafar et al., 2003). Nanopartículas metálicas como las de oro y plata tienen una gran cantidad de beneficios médicos, pero resultan más costosas de sintetizar en comparación con las nanopartículas de selenio (SeNP), además de que estas últimas pueden integrarse con otros agentes biológicos para mejorar sus propiedades biológicas.

Las formas nano del Se han atraído mucha atención gracias a su alta biodisponibilidad y a su baja toxicidad en comparación con sus formas orgánicas e inorgánicas, siendo que estas últimas muestran una mayor toxicidad entre ambas (Shi et al., 2011; Zhang et al. 2008).

Las propiedades biológicas de las SeNP dependen de su tamaño, partículas pequeñas presentan una mejor actividad (Fajit et al., 2009). El Se en tamaño nano tiene un muy amplio rango de aplicaciones biomédicas.

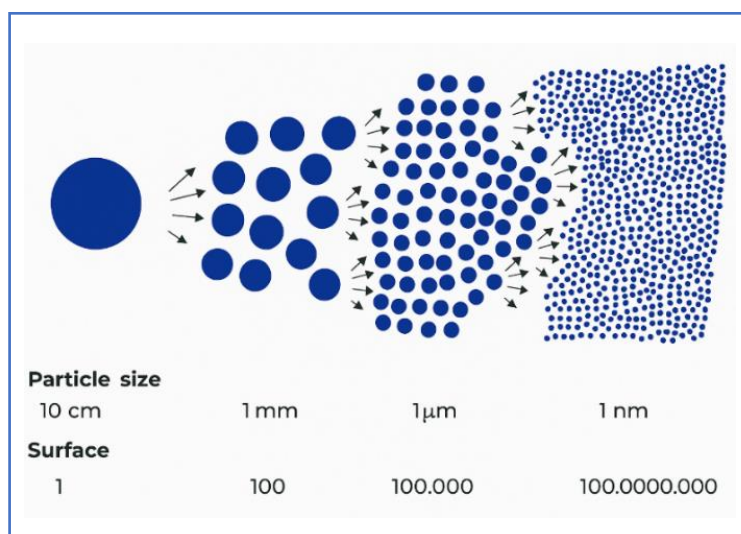
Las SeNP muestran un gran potencial como antioxidantes, agentes terapéuticos contra el cáncer y portadores de fármacos en aplicaciones biológicas (Forootanfar et al., 2014). Los resultados en múltiples estudios indican que las SeNP pueden ser más útiles como posible fármaco anticancerígeno, así como portador de fármacos anticancerígenos (Chen et al., 2008; Luo et al., 2012). Otras investigaciones demuestran su efecto



antimicrobiano y actividad antifúngica (Cremonini et al., 2016). Además de que existen documentaciones donde se plasman sus efectos protectores contra la intoxicación por metales (Hassanin et al. 2013; Trabelsi et al., 2013), y, por último, pero no menos importante, las SeNP tienen efectos benéficos en una gran variedad de funciones fisiológicas.

En estudios clínicos, se han usado SeNP en lugar de las fuentes convencionales de Se y se ha demostrado que puede ser una mejor alternativa (Zhang et al., 2001). En la actualidad, las investigaciones en relación con las SeNP se han visto en aumento debido a sus amplias aplicaciones dentro de la biomedicina debido a su buena actividad antibacteriana, que resulta incluso más efectiva que las nanopartículas de plata (Huang et al. 2003).

Figura 2.
Representación
esquemática del
tamaño y la
superficie de las
partículas a escala
nanométrica.
(Subramanian, K.,
D'Souza, L., y
Alhaarithi, A.,
2008).



4. SÍNTESIS DE SENP

El método de síntesis de las SeNP es un factor determinante para definir su tamaño, forma, estabilidad y, por lo tanto, su comportamiento biológico y terapéutico. Según Khurana et al. (2019) y Bisht et al. (2022), los principales métodos de obtención se clasifican en tres grandes categorías: biosíntesis, reducción química y métodos físicos.

4.1 BIOSÍNTESIS

La biosíntesis, también conocida como síntesis verde, utiliza organismos vivos o extractos biológicos como agentes reductores y estabilizantes naturales. Esta



aproximación se basa en la capacidad de ciertos microorganismos, plantas y biomoléculas para transformar compuestos de selenio inorgánico (como selenito o selenato de sodio) en su forma elemental (Se^0).

- Microorganismos. Bacterias como *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Enterobacter* son capaces de reducir selenitos a nanopartículas de selenio mediante enzimas reductasas y metabolitos secundarios. Este proceso es ambientalmente benigno y genera SeNP biocompatibles, recubiertas naturalmente con proteínas o polisacáridos microbianos que mejoran su estabilidad coloidal.
- Hongos y levaduras. Especies como *Saccharomyces cerevisiae* y *Aspergillus terreus* también han sido utilizadas para producir SeNP con una morfología esférica y un diámetro controlado entre 50 y 150 nm, lo que las hace ideales para aplicaciones farmacológicas.
- Extractos vegetales. En la fitosíntesis, extractos de hojas, frutos o raíces actúan como reductores y agentes de encapsulamiento. Los compuestos fenólicos, flavonoides y terpenoides presentes en las plantas facilitan la reducción de Se^{4+} a Se^0 , evitando el uso de reactivos tóxicos. Ejemplos incluyen extractos de *Aloe vera*, *Camellia sinensis* (té verde) y *Allium sativum* (ajo).

Hosnedlová et al. (2018) destacan que la biosíntesis es económica, sustentable y biocompatible, además de permitir una funcionalización natural de las nanopartículas con biomoléculas que pueden potenciar su acción terapéutica (anticancerígena, antioxidante, antimicrobiana, etc.).

4.2 REDUCCIÓN QUÍMICA

La reducción química es el método más comúnmente empleado en laboratorio para la obtención de SeNP. Se basa en la reducción de sales de selenio por ejemplo Na_2SeO_3 u óxidos como SeO_2 , utilizando agentes reductores químicos que convierten los iones Se^{4+} en selenio elemental (Se^0).

Entre los agentes reductores más utilizados se encuentran:

- Ácido ascórbico (vitamina C)
- Glutatión
- Hidrazina
- Sodio borohidruro (NaBH_4)



- Azúcares reductores como la glucosa o la sacarosa

El proceso suele realizarse en medios acuosos, controlando cuidadosamente la temperatura, el pH y el tiempo de reacción para ajustar el tamaño y la forma de las partículas. Los estabilizantes (como el almidón, el quitosano o la PVP –polivinilpirrolidona–) se añaden para evitar la aglomeración.

Khurana et al. (2019) subrayan que este método permite obtener SeNP monodispersas con diámetros de 20 a 200 nm, pero la presencia de residuos químicos puede limitar su uso en aplicaciones biomédicas si no se realiza una purificación adecuada.

A pesar de ello, la reducción química sigue siendo el método de referencia por su simplicidad, reproducibilidad y capacidad de escalarse a nivel industrial.

4.3 MÉTODOS FÍSICOS

Los métodos físicos emplean energía externa para inducir la formación de nanopartículas de selenio a partir de materiales macroscópicos. Entre las técnicas más comunes se encuentran:

- Evaporación térmica y deposición de vapor: se vaporiza el selenio metálico y se condensa posteriormente en forma de nanopartículas bajo atmósferas controladas.
- Irradiación con láser o radiación gamma: estas técnicas promueven la nucleación y crecimiento de partículas sin necesidad de reactivos químicos, produciendo SeNP altamente puras y estables.
- Método de microemulsión y ultrasonido: la sonicación o el confinamiento en microgotas permite controlar el tamaño y evitar la agregación, dando lugar a partículas esféricas uniformes.

De acuerdo con Bisht et al. (2022), los métodos físicos ofrecen gran control estructural y producen nanopartículas con excelente pureza, aunque su principal desventaja es el alto costo energético y la necesidad de equipamiento especializado.



Tabla 1. Ventajas y desventajas de los métodos de síntesis de SeNP.

Método	Ventajas	Desventajas
Biosíntesis	Económica, sustentable y biocompatible. Evita reactivos tóxicos. Permite una funcionalización natural con biomoléculas.	Control limitado sobre el tamaño y forma de las nanopartículas. Requiere tiempos de reacción prolongados.
Reducción química	Método sencillo, reproducible y escalable. Permite control sobre tamaño y morfología.	Posible presencia de residuos químicos que limitan su aplicación biomédica si no se purifica adecuadamente.
Métodos físicos	Alta pureza del producto. Gran control estructural y morfológico. No requiere reactivos químicos.	Alto costo energético y necesidad de equipamiento especializado. Difícil de escalar.

Nota: Tomado de Bisht et al. (2022); Hosnedlová et al. (2018); Khurana et al. (2019).

5. APLICACIONES BIOMÉDICAS

5.1 ACTIVIDAD ANTICANCERÍGENA

El efecto anticancerígenode las SeNP es uno de los más estudiados y destacados. Su acción se basa principalmente en la inducción selectiva de estrés oxidativo dentro de las células tumorales, lo que desencadena una cascada de eventos que culmina en apoptosis (muerte celular programada).

A diferencia de compuestos tradicionales de Se, las SeNP son menos tóxicas para las células sanas y muestran mayor afinidad por los tejidos tumorales. Esto se debe a que las células cancerígenas presentan un metabolismo más activo y una mayor absorción de nanopartículas.

De acuerdo con Khurana et al. (2019), las SeNP pueden promover la activación de caspasas y alterar la actividad mitocondrial, conduciendo a la muerte de las células malignas. Se ha observado eficacia en modelos de cáncer de hígado, mama, pulmón, próstata y glioblastoma.

Además, la funcionalización de SeNP con biopolímeros naturales, como quitosano o polisacáridos derivados de *Spirulina* y *Undaria pinnatifida*,



aumenta su estabilidad y potencia antitumoral. Estas formulaciones no solo inducen apoptosis, sino que también interfieren en la expresión de genes relacionados con la proliferación celular y con la inhibición de la angiogénesis tumoral.

En síntesis, las SeNP actúan como quimiopreventivos y coadyuvantes en terapias oncológicas, con el beneficio adicional de reducir los efectos secundarios asociados a los tratamientos convencionales (Bisht et al., 2022; Sakr, Korany y Katti, 2018).

5.2 ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

El estrés oxidativo es un proceso natural del metabolismo, pero su exceso causa daño celular y está implicado en el envejecimiento y enfermedades degenerativas. Las SeNP destacan por su extraordinaria capacidad antioxidante, actuando tanto de forma directa como indirecta.

En su acción directa, las SeNP neutralizan radicales libres gracias a la liberación controlada de átomos de Se en estado cero. Indirectamente, estimulan la expresión de enzimas antioxidantes dependientes de Se, como el glutatión peroxidasa (GPx) y la tioredoxina reductasa (TrxR), que protegen las membranas celulares del daño oxidativo.

Hosnedlová et al. (2018) señalan que las SeNP de menor tamaño (5-15 nm) presentan una actividad antioxidante superior debido a su mayor relación superficie/volumen, lo que favorece las reacciones redox del ADN y los lípidos incluso en concentraciones menores a las necesarias para los compuestos inorgánicos de Se.

5.3 ACTIVIDAD ANTIDIABÉTICA

En el ámbito metabólico, las SeNP muestran una marcada actividad antidiabética y de acuerdo con Bisht et al. (2022) y Khurana et al. (2019), estas nanopartículas ayudan a regular los niveles de glucosa y a proteger las células β pancreáticas del daño oxidativo causado por la hiperglucemia.

El mecanismo involucra la reducción de radicales libres en el páncreas, la mejora de la sensibilidad a la insulina y la inhibición de enzimas prooxidantes que dañan los islotes de Langerhans. Asimismo, las SeNP restauran los niveles antioxidantes endógenos como el glutatión y regulan la expresión de genes relacionados con la homeostasis de la glucosa.



Otra ventaja clave es su liberación controlada y sostenida, lo que evita picos de concentración que podrían generar toxicidad. Su biocompatibilidad y estabilidad las convierten en candidatas prometedoras para el desarrollo de suplementos o fármacos antidiabéticos más seguros.

5.4 ACTIVIDAD ANTIINFLAMATORIA

La inflamación crónica es un componente común de muchas patologías, desde la artritis hasta enfermedades cardiovasculares. Las SeNP muestran efectos antiinflamatorios potentes al modular rutas moleculares implicadas en la respuesta inmunitaria.

Actúan reduciendo la activación del factor de transcripción NF- κ B, responsable de la producción de citocinas proinflamatorias. También regulan la señalización del inflammasoma NLRP3, reduciendo la liberación de mediadores inflamatorios.

En modelos animales, las SeNP disminuyeron la hinchazón y el daño tisular en tejidos inflamados, además de restaurar la actividad antioxidante endógena. Su doble acción antioxidante y antiinflamatoria las convierte en compuestos de gran interés para tratar enfermedades autoinmunes y neuroinflamatorias.

5.5 ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA

Las SeNP también se destacan por su actividad antimicrobiana de amplio espectro, capaz de inhibir bacterias Gram positivas (*Staphylococcus aureus*) y Gram negativas (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*).

El mecanismo propuesto incluye la interacción electrostática con las membranas bacterianas, provocando su desorganización, la inhibición de enzimas esenciales y la inducción de estrés oxidativo que lleva a la muerte celular bacteriana.

Bisht et al. (2022) demostraron que las SeNP pueden ser incluso más efectivas que las nanopartículas de plata, tradicionalmente usadas por su efecto antibacteriano. Además, al ser biocompatibles y menos tóxicas, son ideales para aplicaciones médicas como recubrimientos antimicrobianos, apósitos cicatrizantes y sistemas de liberación controlada de fármacos.

5.6 ACTIVIDAD ANTIFÚNGICA

Finalmente, las SeNP han mostrado actividad antifúngica relevante frente a cepas patógenas como *Candida albicans* y *Aspergillus niger*. Su acción consiste en alterar la integridad de la membrana fúngica, interferir en la síntesis de ergosterol, e inducir estrés oxidativo que afecta las estructuras celulares internas del hongo.

Debido a su bajo impacto ambiental y biocompatibilidad, las SeNP podrían reemplazar los antifúngicos sintéticos convencionales en aplicaciones médicas, farmacéuticas y agroindustriales.

6. AVANCES Y NUEVAS PERSPECTIVAS

En la última década, las nanopartículas de selenio (SeNP) se han posicionado como una de las herramientas más versátiles y prometedoras en la nanomedicina moderna. Su evolución ha pasado de simples sistemas antioxidantes a plataformas multifuncionales capaces de diagnosticar, tratar y prevenir enfermedades complejas. Los avances recientes en su diseño, funcionalización y aplicación terapéutica marcan un cambio de paradigma en la forma en que se conciben los tratamientos médicos del futuro.

6.1 SeNP COMO VEHÍCULOS INTELIGENTES DE FÁRMACOS

Uno de los avances más notables es el desarrollo de sistemas de liberación controlada de fármacos basados en SeNP. Gracias a su superficie altamente modificable, las nanopartículas pueden conjugarse con moléculas terapéuticas, anticuerpos, péptidos o polímeros biocompatibles, permitiendo una administración selectiva hacia células o tejidos específicos.

Khurana et al. (2019) destacan que esta capacidad de direccionamiento selectivo reduce los efectos secundarios y aumenta la eficacia del tratamiento, especialmente en terapias contra el cáncer. Por ejemplo, las SeNP funcionalizadas con quitosano, ácido fólico o doxorubicina pueden reconocer receptores sobreexpresados en células tumorales, liberando el fármaco directamente en el microambiente maligno.



Este enfoque abre la puerta a terapias personalizadas y de precisión, donde la nanopartícula actúa como un “caballo de Troya” que introduce el agente terapéutico dentro de la célula enferma con mínima afectación a las células sanas.

6.2 APLICACIONES EN MEDICINA REGENERATIVA Y NEUROPROTECCIÓN

Otra área en crecimiento es el uso de SeNP en la regeneración tisular y la neuroprotección. Gracias a su capacidad antioxidante, estas nanopartículas pueden prevenir la muerte neuronal inducida por estrés oxidativo, una de las principales causas del deterioro cognitivo y enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer o el Parkinson.

Asimismo, se ha demostrado que las SeNP estimulan la proliferación de células madre mesenquimales y promueven la reparación de tejidos lesionados, sugiriendo su potencial en la ingeniería de tejidos y la medicina regenerativa.

Los avances en el diseño, la síntesis y la aplicación de las nanopartículas de selenio reflejan un progreso sustancial hacia una nanomedicina más segura, eficaz y sostenible. Los métodos de biosíntesis y funcionalización han permitido obtener sistemas biocompatibles con amplias propiedades terapéuticas, mientras que las estrategias híbridas y los enfoques teranósticos amplían sus horizontes hacia la medicina personalizada.

En conjunto, las SeNP representan una nueva generación de agentes terapéuticos inteligentes, capaces de actuar como antioxidantes, anticancerígenos, antidiabéticos y antimicrobianos, pero también como vehículos de liberación dirigida, inmunomoduladores y herramientas diagnósticas.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó una visión general sobre las nanopartículas de selenio y sus aplicaciones en la biomedicina, un campo que ha mostrado un crecimiento constante gracias al potencial de estos nanomateriales. Las SeNP destacan por combinar la bioactividad del selenio con las ventajas

estructurales y funcionales de la escala nanométrica, lo que las convierte en una plataforma versátil para el desarrollo de nuevas terapias. El método de síntesis —biológico, químico o físico— influye directamente en sus propiedades, como el tamaño, la estabilidad y la actividad biológica, siendo los métodos biológicos especialmente valorados por su sostenibilidad y biocompatibilidad. Gracias a esta diversidad, las SeNP han demostrado eficacia en aplicaciones anticancerígenas, antioxidantes, antimicrobianas, antidiabéticas y antiinflamatorias. En conjunto, su bajo perfil tóxico, multifuncionalidad y capacidad de ser modificadas o combinadas con otros materiales las consolidan como una alternativa innovadora y sostenible para el diseño de terapias más seguras, específicas y eficaces en la medicina moderna.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a la Universidad Autónoma de Coahuila, a la Facultad de Ciencias Químicas, al posgrado de Maestría en Ciencia y Tecnología de Materiales y a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI).

REFERENCIAS

- Acosta, L. (2007). *El selenio*. Laboratorios Santa Elena. https://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion_mineral/95-selenio.pdf
- Bisht, N., Phalswal, P., & Khanna, P. K. (2022). Selenium nanoparticles: A review on synthesis and biomedical applications. *Materials Advances*, 3, 1415–1431. <https://doi.org/10.1039/D1MA00639H>
- Boverhof, D. R., Bramante, C. M., Butala, J. H., Clancy, S. F., Lafranconi, M., West, J., & Gordon, S. C. (2015). Comparative assessment of nanomaterial definitions and safety evaluation considerations. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 73(1), 137–150. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2015.06.001>
- Chen, T., Wong, Y. S., Zheng, W., Bai, Y., & Huang, L. (2008). Selenium nanoparticles fabricated in *Undaria pinnatifida* polysaccharide solutions induce mitochondria-mediated apoptosis in A375 human melanoma cells. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 67(1), 26–31. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2008.07.010>
- Cremonini, E., Zonaro, E., Donini, M., Lampis, S., Boaretti, M., Dusi, S., Melotti, P., Lleo, M. M., & Vallini, G. (2016). Biogenic selenium nanoparticles: Characterization,



antimicrobial activity and effects on human dendritic cells and fibroblasts. *Microbial Biotechnology*, 9(6), 758–771. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12374>

- Fajt, Z., Drabek, J., Steinhauser, L., & Svoboda, M. (2009). The significance of pork as a source of dietary selenium—An evaluation of the situation in the Czech Republic. *Neuro Endocrinology Letters*, 30(Suppl. 1), 17–21.
- Forootanfar, H., Adeli-Sardou, M., Nikkhoo, M., Mehrabani, M., Amir-Heidari, B., Shahverdi, A. R., & Shakibaie, M. (2014). Antioxidant and cytotoxic effect of biologically synthesized selenium nanoparticles in comparison to selenium dioxide. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 28(1), 75–79. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2013.07.005>
- Hassanin, K. M. A., Abd El-Kawi, S. H., & Hashem, K. S. (2013). The prospective protective effect of selenium nanoparticles against chromium-induced oxidative and cellular damage in rat thyroid. *International Journal of Nanomedicine*, 8, 1713–1720. <https://doi.org/10.2147/IJN.S42736>
- Hernández-Mendoza, H., & Rios-Lugo, M. J. (2009). Rol biológico del selenio en el humano. *Química Viva*, 8(2), 64–79. <https://www.redalyc.org/pdf/863/86311783003.pdf>
- Hosnedlova, B., Kepinska, M., Skalickova, S., Fernandez, C., Ruttkay-Nedecky, B., Peng, Q., Baron, M., Melcova, M., Opatrilova, R., Zidkova, J., Bjørklund, G., Sochor, J., & Kizek, R. (2018). Nano-selenium and its nanomedicine applications: A critical review. *International Journal of Nanomedicine*, 13, 2107–2128. <https://doi.org/10.2147/IJN.S157541>
- Huang, B., Zhang, J., Hou, J., & Chen, C. (2003). Free radical scavenging efficiency of Nano-Se in vitro. *Free Radical Biology and Medicine*, 35(7), 805–813. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(03\)00428-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(03)00428-3)
- Huang, D., Ou, B., & Prior, R. L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(6), 1841–1856. <https://doi.org/10.1021/jf030723c>
- Ikram, M., Javed, B., Raja, N. I., & Mashwani, Z. U. R. (2021). Biomedical potential of plant-based selenium nanoparticles: A comprehensive review on therapeutic and mechanistic aspects. *International Journal of Nanomedicine*, 16, 249–268. <https://doi.org/10.2147/IJN.S295053>
- Kathirvelu, S., D'Souza, L., & Dhurai, B. (2008). Nanotechnology applications in textiles. *Indian Journal of Science and Technology*, 1(5), 1–10. <https://doi.org/10.17485/ijst/2008/v1i5.14>
- Khurana, A., Tekula, S., Saifi, M. A., Venkatesh, P., & Godugu, C. (2019). Therapeutic applications of selenium nanoparticles. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 111, 802–812. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.12.146>
- Luo, H., Wang, F., Bai, Y., Chen, T., & Zheng, W. (2012). Selenium nanoparticles inhibit the growth of HeLa and MDA-MB-231 cells through induction of S phase arrest. *Colloids*

and Surfaces B: Biointerfaces, 94, 304–308.
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2012.02.006>

- Panahi-Kalamuei, M., Salavati-Niasari, M., & Hosseinpour-Mashkani, S. M. (2014). Facile microwave synthesis, characterization, and solar cell application of selenium nanoparticles. *Journal of Alloys and Compounds*, 617, 627–632.
<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.07.174>
- Pandey, P., & Dahiya, M. (2016). A brief review on inorganic nanoparticles. *Journal of Critical Reviews*, 3(3), 18–26.
- Petrović, M. (2021). Selenium: Widespread yet scarce, essential yet toxic. *ChemTexts*, 7(2), Article 11. <https://doi.org/10.1007/s40828-021-00137-y>
- Pillai, R., Uyehara-Lock, J. H., & Bellinger, F. P. (2014). Selenium and selenoprotein function in brain disorders. *IUBMB Life*, 66(4), 229–239. <https://doi.org/10.1002/iub.1262>
- Rayman, M. P. (2000). The importance of selenium to human health. *The Lancet*, 356(9225), 233–241. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)02490-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)02490-9)
- Sakr, T. M., Korany, M., & Katti, K. V. (2018). Selenium nanomaterials in biomedicine—An overview of new opportunities in nanomedicine of selenium. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 46, 223–233. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2018.05.023>
- Shakibaie, M., Forootanfar, H., Golkari, Y., Mohammadi-Khorsand, T., & Shakibaie, M. R. (2015). Anti-biofilm activity of biogenic selenium nanoparticles and selenium dioxide against clinical isolates of *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Proteus mirabilis*. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 29, 235–241.
<https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2014.07.020>
- Shi, L., Xun, W., Yue, W., Zhang, C., Ren, Y., Shi, L., Wang, Q., Yang, R., & Lei, F. (2011). Effect of sodium selenite, Se-yeast and nano-elemental selenium on growth performance, Se concentration and antioxidant status in growing male goats. *Small Ruminant Research*, 96(1), 49–52.
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2010.11.005>
- Trabelsi, H., Azzouz, I., Ferchichi, S., Tebourbi, O., Sakly, M., & Abdelmelek, H. (2013). Nanotoxicological evaluation of oxidative responses in rat nephrocytes induced by cadmium. *International Journal of Nanomedicine*, 8, 3447–3453.
<https://doi.org/10.2147/IJN.S49323>
- Yu, B., Zhang, Y., Zheng, W., Fan, C., & Chen, T. (2012). Positive surface charge enhances selective cellular uptake and anticancer efficacy of selenium nanoparticles. *Inorganic Chemistry*, 51(16), 8956–8963. <https://doi.org/10.1021/ic301050v>
- Zafar, K. S., Siddiqui, A., Sayeed, I., Ahmad, M., Salim, S., & Islam, F. (2003). Dose-dependent protective effect of selenium in rat model of Parkinson's disease: Neurobehavioral and neurochemical evidences. *Journal of Neurochemistry*, 84(3), 438–446. <https://doi.org/10.1046/j.1471-4159.2003.01531.x>



- Zhang, J.-S., Gao, X.-Y., Zhang, L.-D., & Bao, Y.-P. (2001). Biological effects of a nano red elemental selenium. *BioFactors*, 15(1), 27–38.
<https://doi.org/10.1002/biof.5520150103>
- Zhang, J., Wang, X., & Xu, T. (2008). Elemental selenium at nano size (Nano-Se) as a potential chemopreventive agent with reduced risk of selenium toxicity: Comparison with Se-methylselenocysteine in mice. *Toxicological Sciences*, 101(1), 22–31.
<https://doi.org/10.1093/toxsci/kfm221>