

Avances recientes en el tratamiento del cáncer de tiroides basado en el uso de nanopartículas: una revisión narrativa

Recent advances in nanoparticle-based treatment of thyroid cancer: a narrative review

Marco A. Cruz-García¹, Lixia S. Quintero-Ayón¹, Nayelli G. Terán-Saavedra² y Kevin R. Diaz-Galvez^{2*}

¹Estudiante de 4.º semestre de la Licenciatura en Medicina General. Escuela de Medicina de la Universidad Durango Santander, campus Hermosillo. KM 9.8, Internacional A Nogales, XX Café Combate, 83165. Identificador ORCID: Cruz-García M., 0009-0001-8559-5458 Quintero-Ayón L. 0009-0009-6759-1822.

²Profesor de Farmacología, Escuela de Medicina. Universidad Durango Santander, campus Hermosillo. KM 9.8, Internacional A Nogales, XX Café Combate, 83165. Identificador ORCID: Terán-Saavedra N. 0000-0002-9181-6384, Diaz-Galvez K. 0000-0002-0085-1994.

*Correo-e de autor de correspondencia: investigacion.medicina@hermosillo.uad.mx

DOI: <https://doi.org/10.59420/remus.2.2025.296>

Recibido: 26/05/2025

Aceptado: 06/08/2025

Resumen

El cáncer de tiroides (CT) es una de las neoplasias endocrinas frecuentes con una incidencia en aumento a nivel mundial. Los tipos más comunes de CT incluyen el carcinoma papilar, folicular, oncocítico, medular y el agresivo carcinoma anaplásico. A pesar de los tratamientos como la cirugía y el yodo radiactivo, entre el 7 % y el 23 % de los pacientes pueden desarrollar metástasis resistentes a la terapia. El objetivo de esta revisión fue demostrar el potencial terapéutico de las nanopartículas (NP) aplicada en el CT. Se realizó una búsqueda bibliográfica en PubMed, Embase, Web of Science, Elsevier y Scielo, seleccionando un total de 41 artículos conforme a los lineamientos de la escala para la evaluación de artículos de revisión narrativa (SANRA). Las palabras clave se definieron mediante el uso de la guía Medical Subject Heading (MeSH). Los resultados evidencian que las NP mejoran la biodisponibilidad de los fármacos, reducen efectos adversos y permiten una liberación controlada de agentes terapéuticos. Formulaciones como nanoemulsiones, liposomas, NP híbridas y fototérmicas demuestran un alto potencial en la focalización tumoral. En conjunto, las NP representan un enfoque prometedor y altamente específico para optimizar el tratamiento del CT y superar las limitaciones de las terapias tradicionales.

Palabras clave: cáncer de tiroides, nanopartículas, nanomedicina

Abstract

Thyroid cancer (CT) is one of the most common endocrine neoplasms, with an increasing incidence worldwide. The most frequent types of CT are papillary, follicular, oncocyctic, medullary, and the aggressive anaplastic carcinoma. Despite treatments such as surgery and radioactive iodine therapy, between 7 % and 23 % of patients may develop therapy-resistant metastases. This review aimed to highlight the therapeutic potential of nanoparticles (NPs) in the treatment of TC. A total of 41 articles were selected from databases including PubMed, Embase, Web of Science, Elsevier, and Scielo, following the guidelines of the Scale for the Assessment of Narrative Review Articles (SANRA). The keywords used were selected using Medical Subject Heading (MeSH). The findings indicate that NPs enhance drug bioavailability, reduce adverse effects, and allow for the controlled release of therapeutic agents. Formulations such as nanoemulsions, liposomes, hybrid NPs, and photothermal NPs show great potential for tumor targeting. NPs represent a promising and highly specific approach to optimize CT treatment and overcome the limitations of traditional therapies.

Keywords: thyroid cancer, nanoparticles, nanomedicine

Introducción

La tiroides es una glándula pequeña en forma de mariposa ubicada en la región anterior del cuello.¹ Su función principal es la síntesis de las hormonas triyodotironina (T3) y tiroxina (T4), las cuales desempeñan un papel vital en el crecimiento y el metabolismo del cuerpo humano.^{2,3} Además, participan en el control de la diabetes, la salud cardiovascular, así como la regulación del sistema inmunitario.⁴ Por lo tanto, mantener niveles normales de las hormonas tiroideas es fundamental para preservar el equilibrio fisiológico del organismo.^{5,6}

El cáncer de tiroides (CT) representa una de las neoplasias malignas más prevalentes del sistema endocrino, lo que ha despertado un creciente interés clínico y científico.^{4,7} Se clasifica en tres tipos histológicos diferenciados: el carcinoma papilar (≈ 84 %), folicular (≈ 4 %) y oncocítico (≈ 2 %).^{5,8} Además, se incluyen el carcinoma medular (≈ 4 %) y el carcinoma anaplásico, el cual es menos común, pero también es el más agresivo.^{9,10}

Durante las últimas décadas, la incidencia mundial del CT ha aumentado rápidamente, casi duplicándose en algunos países desarrollados.¹¹ Según GLOBOCAN, el CT representa aproximadamente el 4.1 % de todos los cánceres diagnosticados en todo el mundo y, en general, presenta un pronóstico favorable, con una tasa de supervivencia a cinco años, cercana al 98.5 %.^{12,13} En México, el CT ocupa el cuarto lugar en incidencia, siendo el segundo más frecuente del sexo femenino.^{14,15}

La etiología del CT es multifactorial. Entre los factores implicados se encuentran mutaciones genéticas, fluctuaciones en la ingesta de yodo, exposición a radiación ionizante y trastornos autoinmunes.^{1,11} Los tratamientos convencionales incluyen la cirugía y la terapia con yodo radiactivo (^{131}I); sin embargo, existe un riesgo de recaída.^{5,16} Entre el 7 % y el 23 % de los pacientes desarrollan metástasis a distancia, generalmente asociadas a procesos de dediferenciación tumoral.¹ Esta etapa avanzada suele tener un comportamiento más agresivo y es de difícil abordaje. En

tales casos, se recurre a la quimioterapia, aunque la resistencia farmacológica y los efectos adversos limitan su eficacia.¹⁷

Frente a estas limitaciones, han surgido nuevos enfoques terapéuticos emergentes en el cáncer de tiroides, como las terapias dirigidas, entre las cuales la nanomedicina ha cobrado especial interés.^{18,19} En particular, las nanopartículas (NP) han recibido mucha atención y se han investigado ampliamente como tratamientos prometedores debido a sus propiedades fisicoquímicas únicas.^{20,21} Estas estructuras permiten mejorar la biodisponibilidad de los agentes antineoplásicos, reducir sus efectos adversos y maximizar su eficacia.²² Asimismo, compensan la baja solubilidad de ciertos fármacos y evitan su agregación en la circulación.²³

Una ventaja adicional de las NP es su capacidad de direccionamiento selectivo de anticancerígenos hacia las células tumorales, lo cual puede mejorar la rediferenciación de este tipo de cáncer.¹⁷ Además, la liberación controlada en el sitio de acción mejora la focalización y, a su vez, disminuye la toxicidad en células sanas.²⁴ En esta revisión se abordan los avances más recientes en el uso de nanomedicina aplicada a la terapia del CT.

Materiales y métodos

Se realizó una revisión narrativa de la literatura enfocada en los distintos tipos de NP aplicadas como tratamiento del CT. Las búsquedas se llevaron a cabo en las bases de datos PubMed, Embase, Google Scholar, entre otras. Para la evaluación metodológica se utilizaron los criterios de la escala para la evaluación de artículos de revisión narrativa (SANRA, por sus siglas en inglés). Las palabras claves fueron seleccionadas conforme el uso de la guía Medical Subject Heading (MeSH). En total, se incluyeron 41 artículos que abordaron los temas de CT, nanomedicina y el uso de NP dirigidas al CT como una alternativa terapéutica específica.

Resultados

Las publicaciones científicas recientes han señalado que existe una amplia variedad de NP con aplicaciones terapéuticas dirigidas al CT, posicionándose como una alternativa más prometedora frente a las terapias convencionales.^{1,25} Entre las formulaciones más destacadas, se encuentran las nanoemulsiones, partículas lipídicas sólidas, nanocápsulas, nanoesferas y liposomas,²⁶ todas ellas diseñadas para optimizar la biodisponibilidad del fármaco y utilizarse eficazmente en el tratamiento del CT.^{1,17}

Se considera como NP aquella estructura con un tamaño menor a 200 nm, lo cual favorece su acumulación en los tejidos tumorales, logrando evadir la rápida depuración renal y, a su vez, transportarse sistémicamente.^{27,28}

Entre los desarrollos más relevantes se incluyen:

- NP de ácido poli(láctico-co-glicólico) (PLGA) acopladas a hormona estimulante de la tiroides humana recombinante (rhTSH) (A, Figura 1), que promueven la síntesis de *novο* del simportador de yoduro de sodio (NIS).²⁹
- NP lipídicas con ácido ribonucleico mensajero (NPs LPM) que codifican directamente al NIS (B, Figura 1), aumentan la captación de ¹³¹I.^{30,31}
- NP de albúmina y ¹³¹I, unidas a indocianina (figura C), mostraron efectos radiofototérmicos prometedores a nivel celular e *in vivo*, a diferencia de sus controles albúmina sérica humana (HSA) y verde de indocianina (ICG) que no mostraron efecto significativo.³²

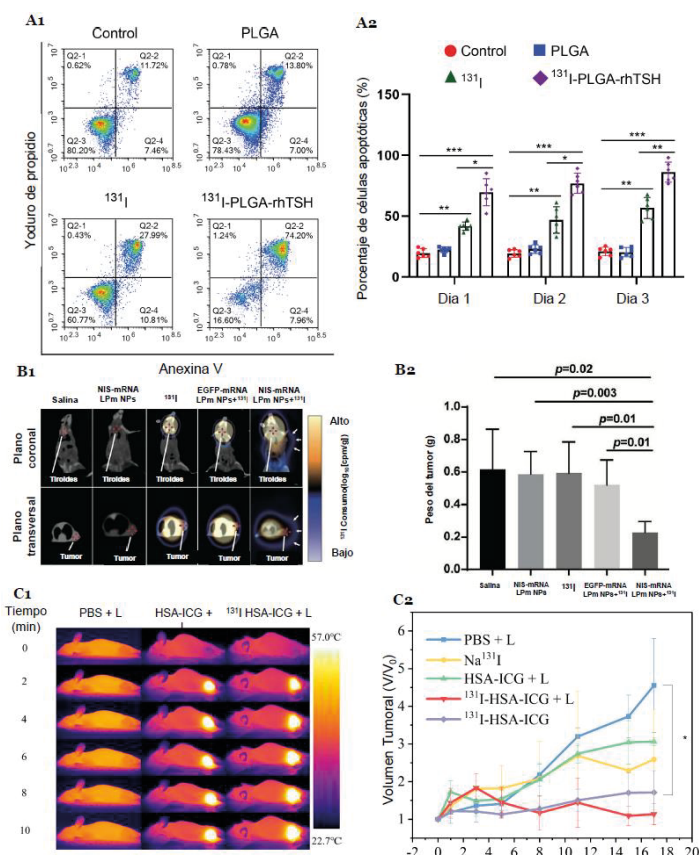


Figura 1. La aplicación de NP y su efecto apoptótico en el tumor de tiroides. NP de ^{131}I -PLGA-rhTSH (A1 y A2); NIS-mRNA LPm NPs + ^{131}I (B1 y B2); ^{131}I HSA-ICG (C1 y C2)

Discusión

El uso de NP permite una administración dirigida y eficiente de ^{131}I a través de estrategias de focalización activa, que mejoran su captación y acumulación en las células tumorales.^{17,33} Las NP híbridas, formadas por combinaciones de materiales orgánicos, inorgánicos y moléculas de focalización, permiten la administración de fármacos y genes claves en el efecto anticancerígeno,^{25,34,35} por lo que mejoran la acumulación tumoral, la liberación controlada de fármacos y optimizan los resultados terapéuticos.^{17,36} Finalmente, la terapia fototérmica ha surgido como un enfoque prometedor para atacar y destruir selectivamente las células malignas de la tiroides, aprovechando las

propiedades ópticas y térmicas de las NP para generar calor localizado y desencadenar la apoptosis sin dañar tejidos circundantes.^{1,37}

Es importante destacar que los tratamientos tradicionales para el CT conllevan riesgos significativos, como el desarrollo de hipotiroidismo en la tiroidectomía y, en algunos casos, citotoxicidad a tejidos y órganos adyacentes en el tratamiento con ^{131}I .^{38,39}

En este contexto, las NP ofrecen ventajas sustanciales que las convierten en una excelente alternativa como tratamiento en el cáncer de tiroides. Tal es el caso de las NP transportadoras de ^{131}I , que expresan diversos mecanismos en los cuales maximizan su efecto apoptótico dirigido a las células tumorales tiroideas.^{29,32} Asimismo, la estimulación de la síntesis de NIS mediante hormonas estimulantes y mRNA ha demostrado resultados prometedores al facilitar la entrada del elemento radiactivo dentro de las células.^{29,30} Por otro lado, el efecto sinérgico de la terapia radiofototérmica con NP acopladas a indocianina evidenció reducción tumoral.^{32,40,41}

Conclusión

El CT es una neoplasia endocrina de alta prevalencia, con una tasa de supervivencia globalmente favorable. Sin embargo, su manejo terapéutico sigue representando un desafío clínico, especialmente en los casos de recurrencia o metástasis. A pesar de su pronóstico, su creciente incidencia ha impulsado la búsqueda de nuevas estrategias con enfoques más específicos y con menos efectos adversos. Por consiguiente, la nanomedicina emerge como una opción prometedora. La implementación de NP dirigidas específicamente a las células tumorales ofrece un enfoque innovador para mejorar la biodisponibilidad de los fármacos, optimizar la liberación controlada y minimizar los efectos adversos. La integración de NP con otras técnicas terapéuticas señala nuevas posibilidades para el tratamiento más efectivo y selectivo del CT.

Agradecimientos

Expresamos un especial agradecimiento al cuerpo de gobierno de la Escuela de Medicina de la Universidad Durango Santander, Campus Hermosillo, así como al Dr. Guadalupe Navarro Villegas y a la Mtra. Martha Alicia Barceló Grijalva, por todo el apoyo brindado a lo largo de este proceso.

Declaración de conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Fuente de financiamiento

No se contó con ningún tipo de financiamiento.

Declaración de contribuciones

Marco Antonio Cruz García, Universidad Durango Santander: recolección de información bibliográfica.

Lixia Sinahí Quintero Ayón, Universidad Durango Santander: integración y escritura.

Nayelli Guadalupe Terán Saavedra, Universidad Durango Santander: revisión y corrección del borrador.

Kevin Ricardo Díaz Gálvez, Universidad Durango Santander: edición del manuscrito final.

Referencias:

1. Sahare P, Ruiz-Manriquez LM, Anguiano B, Banerjee A, Pathak S, Duttaroy AK, Bárcenas GL y Sujay P. Recent advances in nanomedicine for the diagnosis and therapy of thyroid disorders. *3 Biotech*. 2025;15(3):67. <https://doi.org/10.1007/s13205-025-04234-4>
2. Salman AG, Mahdi IAJ, Mukhlef AK, Mohammad R, Zaghir MSH y Wadaa'a, N. Physiological aspects of thyroid disorders: Anatomy, hormones, diagnosis and management. *Current Clinical and Medical Education*. 2024; 2(5), 17-32. <https://www.visionpublisher.info/index.php/ccme/article/view/68>
3. Mestanza PMG, Salazar JLP, Jacome MJV, Tipán PAP, Granja EST. Trastornos tiroideos en el adulto, paciente pediátrico y embarazo. *RECIAMUC*. 2025;9(2):248-261. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/9.\(2\).abril.2025.248-261](https://doi.org/10.26820/reciamuc/9.(2).abril.2025.248-261)
4. Yang L, Wang X, Zhang S, Cao K, Yang J. Research progress on artificial intelligence technology-assisted diagnosis of thyroid diseases. *Front Oncol*. 2025; 15:1536039. <https://doi.org/10.3389/fonc.2025.1536039>
5. Boucai L, Zafereo M y Cabanillas ME. Thyroid cancer a review. *Jama* 2024; 331(5), 425-435. <https://doi.org/10.1001/jama.2023.26348>
6. Caneo C, Aedo I, Riquelme MJ, Fardella C. Disfunción tiroidea y trastornos del ánimo: revisión del estado del arte. *Rev Med Clin Las Condes*. 2020;31(2):122-129. <https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2020.01.003>
7. Wan Y, Li G, Cui G, Duan S, Chang S. Reprogramming of thyroid cancer metabolism: From mechanism to therapeutic strategy. *Mol Cancer*. 2025; 24(1):74. <https://molecular-cancer.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12943-025-02263-4>
8. Barahona JJ. Microcarcinoma papilar de tiroides. *Actas Méd (Ecuador)*. 2021;31(2):80-83. <https://actasmedicas.ec/index.php/am/article/view/47>
9. Chen DW, Lang BHH, McLeod DSA, Newbold K, Haymart MR. Thyroid cancer. *Lancet*. 2023; 401(10387):1531-44. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(23\)00020-x](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(23)00020-x)
10. Li C, Zhang C, Ma C, Wang Y, Duan Q. Synchronous thyroid medullary cancer and thyroid hemigenesis: A case report. *Exp Ther Med*. 2025; 29(4):77. <https://doi.org/10.3892/etm.2025.12827>
11. Zhiyue, Z., Huijing, HE, Guangliang, S. y Yansong, L. Research progress in epidemiology and risk factors of thyroid cancer. *China Oncology*. 2025; 35(1), 21-29. <https://www.china-oncology.com/EN/10.19401/j.cnki.1007-3639.2025.01.003>
12. Lyu Z, Zhang Y, Sheng C, Huang Y, Zhang Q, & Chen K. Global burden of thyroid cancer in 2022: Incidence and mortality estimates from GLOBOCAN. *Chinese Medical Journal*. 2024; 137(21), 2567-2576. <https://doi.org/10.1097/cm9.0000000000003284>
13. Sexton GP, Crotty TJ, Staunton SM, Healy ML, O'Neill JP, Timon C, et al. Thyroid cancer epidemiology in Ireland from 1994 to 2019 – rising diagnoses without mortality benefit. *Surgeon*. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.surge.2024.08.017>
14. Sánchez-Sánchez JF, Lemus-Rodríguez Y, Ramírez-Aguilar R, Briseño-Hernández AA, Ramos-Barrales M. Metástasis orbitaria e intracraneal secundaria a carcinoma de tiroides. *Cir Cir*. 2021;89(91). <https://doi.org/10.24875/ciru.20001274>
15. Esquivel EP, Lorenzo JDJC, Valero CN, Valdez JEF, Reyna GO. Impacto de la incidencia de cáncer en el Hospital General ISSSTE Toluca, periodo 2014-2018 y su tendencia al año 2040. *Arch Investig Materno Infant*. 2021;11(2):47-55. <https://www.medigraphic.com/pdfs/imi/imi-2020/imi202a.pdf>

16. Ochoa JFV, Lescano HBS, Valla ERP, Álvarez MDO, Benítez OIM. Cáncer de tiroides: perfil clínico-epidemiológico. *J Am Health*. 2023;6(1). <https://jah-journal.com/index.php/jah/article/view/158>
17. Wang J, Tan J, Wu B, Wu R, Han Y, Wang C, Gao Z, Jiang D. y Xia X. Customizing cancer treatment at the nanoscale: a focus on anaplastic thyroid cancer therapy. *J Nanobiotechnology*. 2023;21(1):374. <https://doi.org/10.1186/s12951-023-02094-9>
18. Pakkianathan J, Chan S, Cruz J, Ewan K, Simental AA, Khan S. Targeting surface markers in anaplastic thyroid cancer: Future directions in ligand-bound therapy. *J Endocr Soc*. 2025;9(4): bvaf035. <https://doi.org/10.1210/jendso/bvaf035>
19. Wang L, Wu X, Wang X, Dong M, Zhang H & Zhao P. Targeting CHEK1: Ginsenosides-Rh2 and Cu2O@ G-Rh2 nanoparticles in thyroid cancer. *Cell Biology and Toxicology*. 2025; 41(1), 1-28. <https://doi.org/10.1007/s10565-024-09961-7>
20. Wei W, Han L, Liu J, Shi L, Luo P. Treatment of thyroid cancer by zinc nanoparticles green-formulated by a medicinal plant. *Inorg Chem Commun*. 2025;173(113805):113805. <http://dx.doi.org/10.1016/j.inoche.2024.113805>
21. Neri Álvarez ME. Tratamiento superficial con nanopartículas funcionalizadas para la conservación de mampostería ornamental de arcilla cocida. Monterrey: Universidad Autónoma de Nuevo León; 2021. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/21604>
22. Hassan, EA, Abdelnaser, A, Ibrahim, S, Yousef, E. H., Mosallam, AM, & Zayed, SE. 5H Pyrolo (3, 4-b) Pyrazin-5, 7-(6H)-dione 6-(N-Chitosanimide nanoparticle) composite nano silver and encapsulation in γ -cyclodextrin: Synthesis, molecular docking, and biological evaluation for thyroid cancer treatment. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2025; 140859. <https://doi.org/10.1016/j.ijbio-mac.2025.140859>
23. Tawfik, NM, Teiama MS, Iskandar SS, Osman A, & Hammad SF. A novel nanoemulsion formula for an improved delivery of a Thalidomide analogue to triple-negative breast cancer; synthesis, formulation, characterization and molecular studies. *International Journal of Nanomedicine*. 2023; 1219-1243. <https://doi.org/10.2147/ijn.s385166>
24. Balamurugan K, Chintamani P. Lipid nanoparticulate drug delivery: an overview of the emerging trend. *Pharma Innov J*. 2018;7(7):779-789. <https://www.thepharmajournal.com/archives/2018/vol7issue7/PartM/7-6-166-872.pdf>
25. Gulwani, D, Upadhyay, P, Goel, R, Sarangthem, V y Singh, TD. Nanomedicine mediated thyroid cancer diagnosis and treatment: an approach from generalized to personalized medicine. *Discover Oncology*. 2024; 15(1), 789. <https://doi.org/10.1007/s12672-024-01677-8>
26. González KN, Gema GV, Catari E, Sabino MA. Diseño y evaluación de partículas poliméricas como vehículos para el encapsulamiento y liberación de fármacos. *Rev Iberoam Polímeros*. 2024;25(4):147-183. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9882028>
27. Tomar R, Das SS, Balaga VKR, Tambe S, Sahoo J y Rath SK. Therapeutic implications of dietary polyphenols-loaded nanoemulsions in cancer therapy. *ACS Appl Bio Mater*. 2024;7(4):2036-53. <https://doi.org/10.1021/acsabm.3c01205>
28. Hu D, Ogawa K, Kajiyama M y Enomae T. Characterization of self-assembled silver nanoparticle ink based on nanoemulsion method. *R Soc Open Sci*. 2020;7(5):200296. <https://doi.org/10.1098/rsos.200296>

29. Fan Y, Xiong Y, Wang X, Chen J, Fang D, Huang J y Yuan G. Poly (lactic-co-glycolic acid)-encapsulated iodine-131 nanoparticles fabricated with rhTSH induce apoptosis and immobilization of thyroid cancer cells. *Frontiers in Oncology*. 2023; 13, 1030105. <https://doi.org/10.3389/fonc.2023.1030105>
30. Li Q, Zhang L, Lang J, Tan Z, Feng Q, Zhu F y Ge M. Lipid-Peptide-mRNA Nanoparticles Augment Radioiodine Uptake in Anaplastic Thyroid Cancer. *Advanced Science*. 2023; 10(3), 2204334. <https://doi.org/10.1002/advs.202204334>
31. Shah S, y Lucke-Wold B. Image-guided mesenchymal stem cell sodium iodide symporter (NIS) radionuclide therapy for glioblastoma. *Cancers*. 2024;16(16):2892. <https://doi.org/10.3390/cancers16162892>
32. Zhang X, Yan Z, Meng Z, Li N, Jia Q, Shen Y y Ji Y. Radionuclide 131I-labeled albumin-indocyanine green nanoparticles for synergistic combined radio-photothermal therapy of anaplastic thyroid cancer. *Frontiers in Oncology*. 2022; 12, 889284. <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.889284>
33. Feyadh SM y Mohammed AH. Syntheses, characterization, and suppression efficiency of silver & silver iodide nanoparticle for proliferation, migration, and invasion in follicular thyroid carcinoma cells. *Materials Research Express*. 2022; 9(5), 055402. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2053-1591/ac6d4b/meta>
34. Seaberg J, Montazerian H, Hossen MN, Bhat-tacharya R, Khademhosseini A y Mukherjee P. Hybrid nanosystems for biomedical applications. *ACS Nano*. 2021;15(2):2099-2142. <https://doi.org/10.1021/acsnano.0c09382>
35. Mehta S, Suresh A, Nayak Y, Narayan R y Nayak UY. Hybrid nanostructures: Versatile systems for biomedical applications. *Coordination Chemistry Reviews*. 2022;460, 214482. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ccr.2022.214482>
36. Sun J, Li J, Li X, Yang L y Liu Y. Sequentially responsive size reduction and drug release of core-satellite nanoparticles to enhance tumor penetration and effective tumor suppression. *Chin Chem Lett*. 2023;34(5):107891. <http://www.ccs-publishing.org.cn/article/doi/10.1016/j.cclet.2022.107891>
37. Yuan D, Lu Z, Xu X, & Liu W. RGD peptide-conjugated polydopamine nanoparticles loaded with doxorubicin for combined chemotherapy and photothermal therapy in thyroid cancer. *Discover Oncology*. 2024; 15(1), 794. <https://doi.org/10.1007/s12672-024-01682-x>
38. Al-Janabi G, Hassan HN y Al-Fahham A. Biochemical changes in patients during hypothyroid phase after thyroidectomy. *Journal of medicine and life*. 2022; 15(1), 104. <https://doi.org/10.25122/jml-2021-0297>
39. Bitgen N, Bayram F, Hamurcu Z, Baskol G, Ozturk F, Abdulrezzak U y Donmez-Al-tuntas H. The effects of iodine 131 treatment on chromosomal and oxidative DNA damage in papillary thyroid carcinoma. *Mutation Research-Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. 2024; 898, 503797. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2024.503797>
40. Shao C, Li Z, Zhang C, Zhang W, He R y Xu J. Optical diagnostic imaging and therapy for thyroid cancer. *Mater Today Bio*. 2022;17:100441. <https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2022.100441>
41. Fröhlich E y Wahl R. Nanoparticles: Promising Auxiliary Agents for Diagnosis and Therapy of Thyroid Cancers. *Cancers*. 2021;13(16):4063. <https://doi.org/10.3390/cancers13164063>