

# TERAGNOSIS: EL PODER NUCLEAR QUE SALVA VIDAS



PINO DÍEZ ÁLVAREZ-BUYLLA

Oficina Técnica de Mantenimiento.  
Ingeniera en planificación y ejecución  
de proyectos - C.N. Cofrentes.

IBERDROLA GENERACIÓN NUCLEAR

## INTRODUCCIÓN

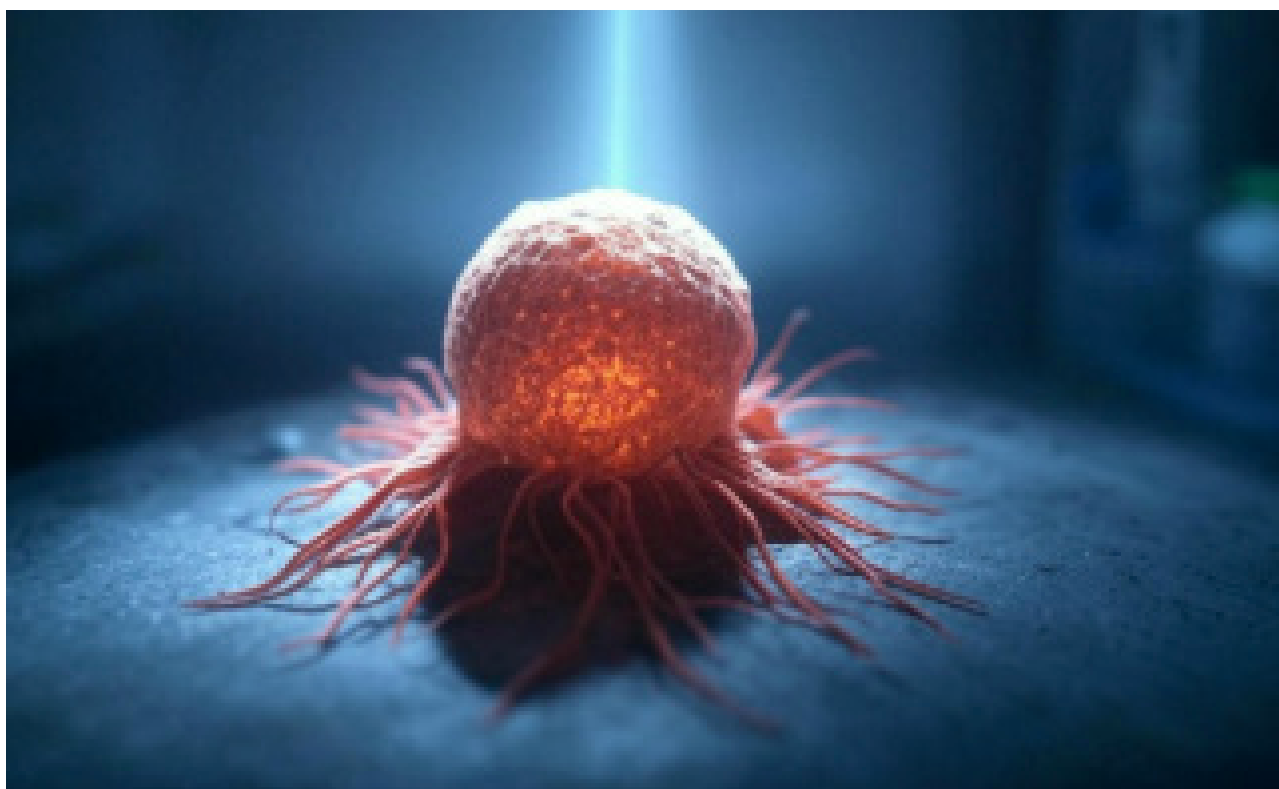
### La teragnosis como solución nuclear innovadora

La teragnosis proviene de la combinación de dos raíces griegas: "therapeia" (θεραπεία), que significa "terapia" o "tratamiento", y "gnosis" (γνώσις), que significa "conocimiento" o "diagnóstico". Representa un hito en la aplicación de la energía nuclear al ámbito médico. Imagina un sistema avanzado que no sólo detecta con precisión milimétrica una anomalía en el cuerpo —un tumor escondido en el tejido, una inflamación que pasa desapercibida o una patología que aún no muestra síntomas claros—, sino que también tiene la capacidad de neutralizarla sin dañar las estructuras sanas circundantes. Esto no es un sueño especulativo ni una fantasía extraída de la ciencia ficción; es una realidad tangible que está transformando la forma en la que nos en-

frentamos a las enfermedades más complejas del siglo XXI.

En su esencia, la teragnosis combina la sensibilidad de la detección nuclear con la potencia de la radiación terapéutica, ofreciendo un enfoque integrado que supera las limitaciones de los métodos tradicionales.

Utiliza radioisótopos —átomos con núcleos inestables que emiten radiación— acoplados a moléculas vectoras diseñadas para buscar objetivos específicos dentro del organismo. Este proceso permite a los especialistas visualizar y tratar simultáneamente la anomalía, con una exactitud que rivaliza con las herramientas más sofisticadas de la ingeniería moderna. Por ejemplo, un tumor que antes requería biopsias invasivas o quimioterapia de amplio espectro ahora puede ser localizado y destruido con una intervención mínimamente invasiva, guiada por la física nuclear.



Instituciones como el Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas (CNIO) y hospitales de referencia en Madrid, Barcelona, Murcia y otras regiones están adoptando esta tecnología, demostrando su capacidad para ofrecer soluciones concretas a pacientes con enfermedades graves. Más allá de su complejidad técnica, el impacto humano de la teragnosis es innegable: prolonga vidas, reduce el sufrimiento asociado a tratamientos agresivos y abre un horizonte de esperanza frente a diagnósticos que antes parecían sentencias definitivas.

La relevancia de esta disciplina radica en su capacidad para transformar la incertidumbre médica en estrategias precisas y personalizadas. En un mundo donde cada paciente presenta características biológicas únicas —desde la expresión de proteínas en sus células hasta la respuesta de su sistema inmunológico—, la teragnosis abandona los enfoques genéricos y apuesta por tratamientos diseñados a medida, basados en datos específicos del individuo. Este cambio de paradigma no sólo es una hazaña tecnológica, sino una redefinición de cómo concebimos la lucha contra las enfermedades.

A lo largo de este artículo, exploraremos en detalle cómo funciona este sistema, desde sus fundamentos físicos y químicos hasta sus aplicaciones prácticas en el contexto español. Prepárate para un recorrido que combina ciencia, tecnología y humanidad, mostrando cómo lo nuclear, lejos de ser una amenaza, se está consolidando como una herramienta poderosa para salvar vidas.

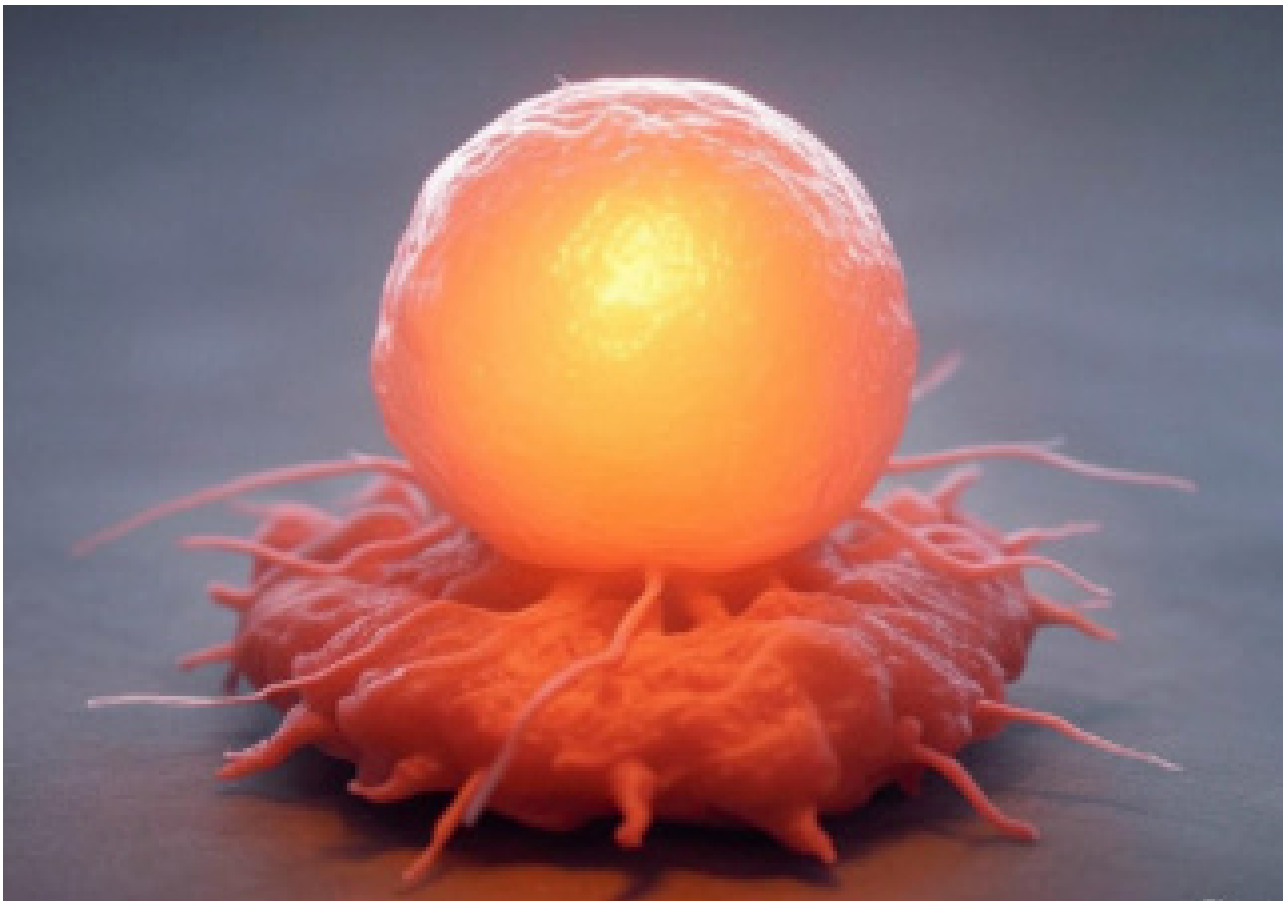
## ¿QUÉ ES LA TERAGNOSIS?

### Fundamentos y capacidades técnicas

El enfoque, que podría parecer complejo a primera vista, se basa en una idea fundamentalmente simple: aprovechar las propiedades físicas de los átomos radiactivos para actuar como agentes duales dentro del cuerpo humano.

En términos técnicos, la teragnosis emplea moléculas diseñadas con precisión química —generalmente péptidos o anticuerpos— que transportan radioisótopos específicos. Estos agentes se dirigen a áreas del cuerpo donde se encuentran anomalías, como tumores, zonas inflamadas o tejidos dañados, ejecutando dos funciones esenciales con una eficiencia notable. Primero, el radioisótopo emite radiación detectable (como rayos gamma o positrones) que permite visualizar el problema mediante equipos de imagen avanzados. Segundo, cuando se requiere tratamiento, el mismo o un isótopo diferente libera energía terapéutica (partículas beta o alfa) para destruir las células objetivo.

Un caso paradigmático es el tratamiento del cáncer de tiroides con yodo-131 ( $^{131}\text{I}$ ). Este isótopo, con una vida media de 8 días, se administra en dosis variables dependiendo del tamaño del tejido afectado y la agresividad de la enfermedad. Una vez ingerido en forma líquida o en cápsulas, el  $^{131}\text{I}$  se concentra selectivamente en la glándula tiroides debido a su afinidad química con el yodo natural. Allí, emite radiación gamma que los equipos de gammagrafía capturan para generar imágenes, y radiación beta que destruye las células malignas. Este método, utilizado desde la década de 1940,



ilustra la simplicidad y eficacia inicial de la teragnosis, sentando las bases para su evolución.

Sin embargo, los avances recientes han llevado esta disciplina mucho más allá. Hoy, la teragnosis aborda cánceres más complejos, como el de próstata metastásico o los tumores neuroendocrinos, con una precisión que hace décadas habría sido considerada ciencia ficción. Por ejemplo, el compuesto  $^{177}\text{Lu}$ -PSMA-617, usado en cáncer de próstata, combina una molécula que se une a la proteína PSMA (antígeno específico de membrana prostática) con lutecio-177, un emisor beta con vida media de 6.7 días. Este agente no sólo localiza tumores con una sensibilidad superior al 90%, sino que administra dosis terapéuticas que prolongan la supervivencia en meses, según estudios clínicos (Sartor et al., 2021).

La clave de esta evolución está en la personalización. Cada paciente presenta biomarcadores únicos —proteínas, receptores o características celulares específicas— que diferencian sus células afectadas de las sanas. La teragnosis aprovecha esta individualidad para diseñar agentes radiactivos que se ajustan a las particularidades del organismo y la enfermedad, eliminando la dependencia de métodos de prueba y error que caracterizan a tratamientos convencionales como la quimioterapia de amplio espectro. Este nivel de especificidad no sólo maximiza el impacto terapéutico, sino que reduce significativamente los efectos secundarios, como fatiga o daño tisular innecesario.

Desde la perspectiva de la ingeniería nuclear, la teragnosis es un logro notable por su capacidad de integrar diagnóstico y terapia en un sólo sistema. Los radioisótopos ofrecen estabilidad (ej.  $^{177}\text{Lu}$  con emisiones beta consistentes) y ver-

satilidad (ej.  $^{68}\text{Ga}$  con vida media de 68 minutos), permitiendo monitorizar en tiempo real el comportamiento de la enfermedad y ajustar estrategias con precisión. En un contexto donde las patologías varían ampliamente entre individuos, esta adaptabilidad transforma la medicina en un proceso basado en datos concretos, posicionando a la teragnosis como una herramienta técnica de enorme potencial para el futuro.

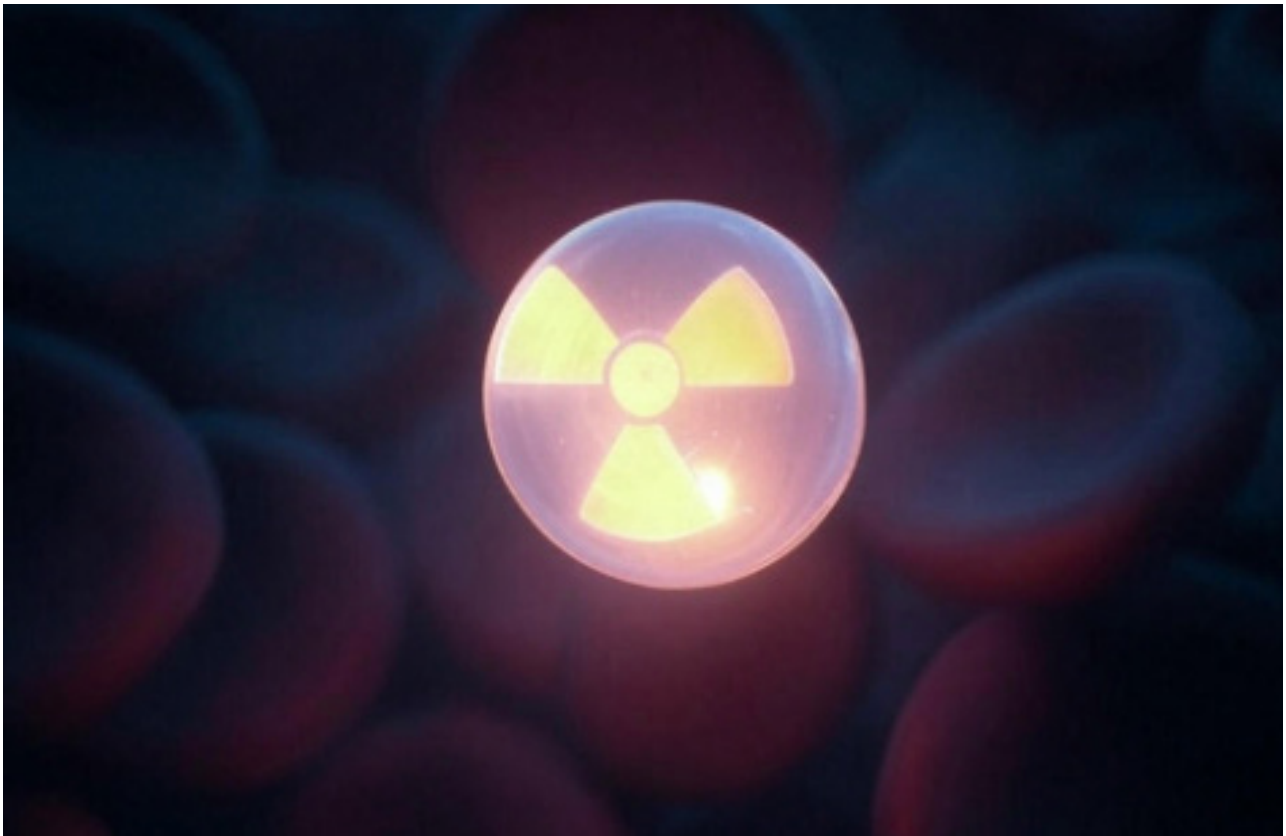
## ¿CÓMO FUNCIONA?

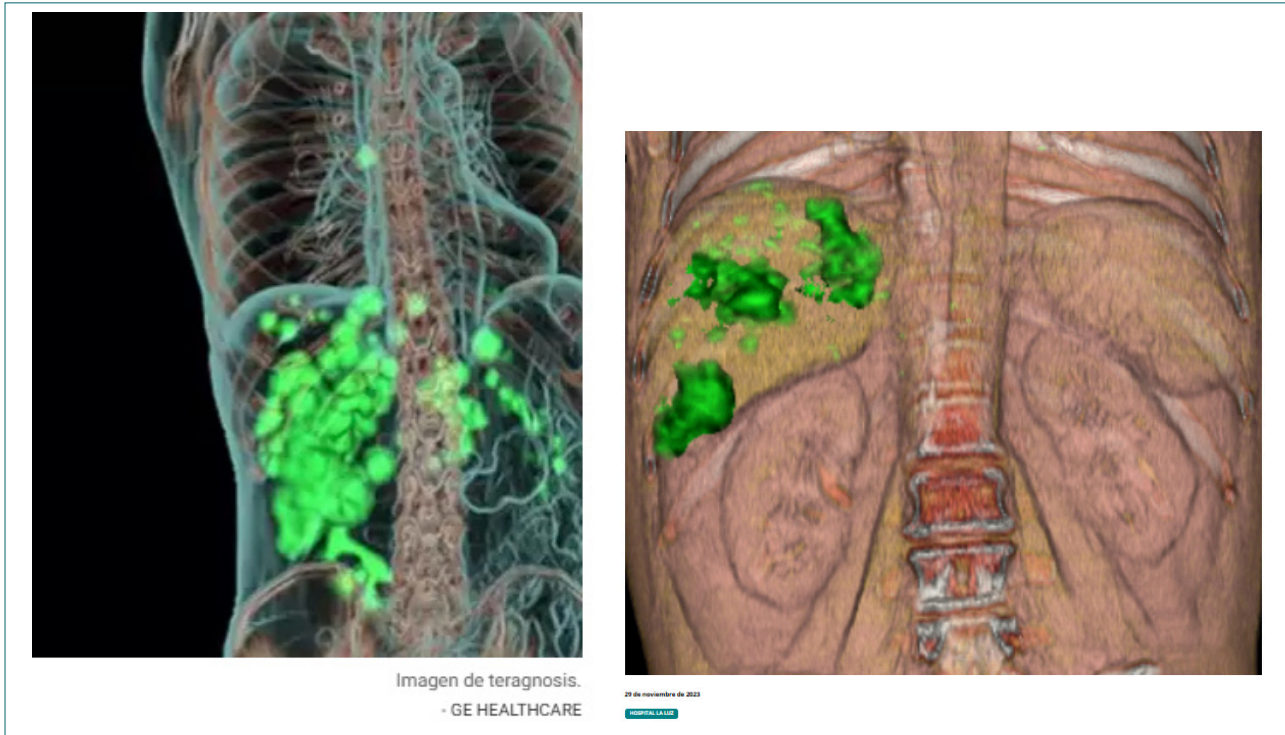
### Principios técnicos y operativos

El funcionamiento de la teragnosis es un proceso estructurado que combina avances en física nuclear, química y tecnología de imagen para ofrecer un sistema dual de detección y tratamiento. En su núcleo, utiliza moléculas vectoras de tamaño nanométrico —tan pequeñas que escapan a la detección de microscopios convencionales— conjugadas con radioisótopos que cumplen funciones específicas según las necesidades clínicas. Este enfoque se desarrolla en dos etapas fundamentales.

#### - Etapa 1: Detección del objetivo

El primer paso consiste en introducir la molécula vectora en el cuerpo, generalmente a través de una inyección intravenosa que la lleva al torrente sanguíneo. Esta molécula lleva un radioisótopo diagnóstico, como el galio-68 ( $^{68}\text{Ga}$ ) y una emisión de positrones. Cuando los positrones chocan con electrones en el tejido, producen rayos gamma que son captados por equipos de tomografía por emisión de positrones (PET). Estas máquinas, con una resolución espacial de aproximadamente 4 mm, generan imágenes tridimensionales que muestran la

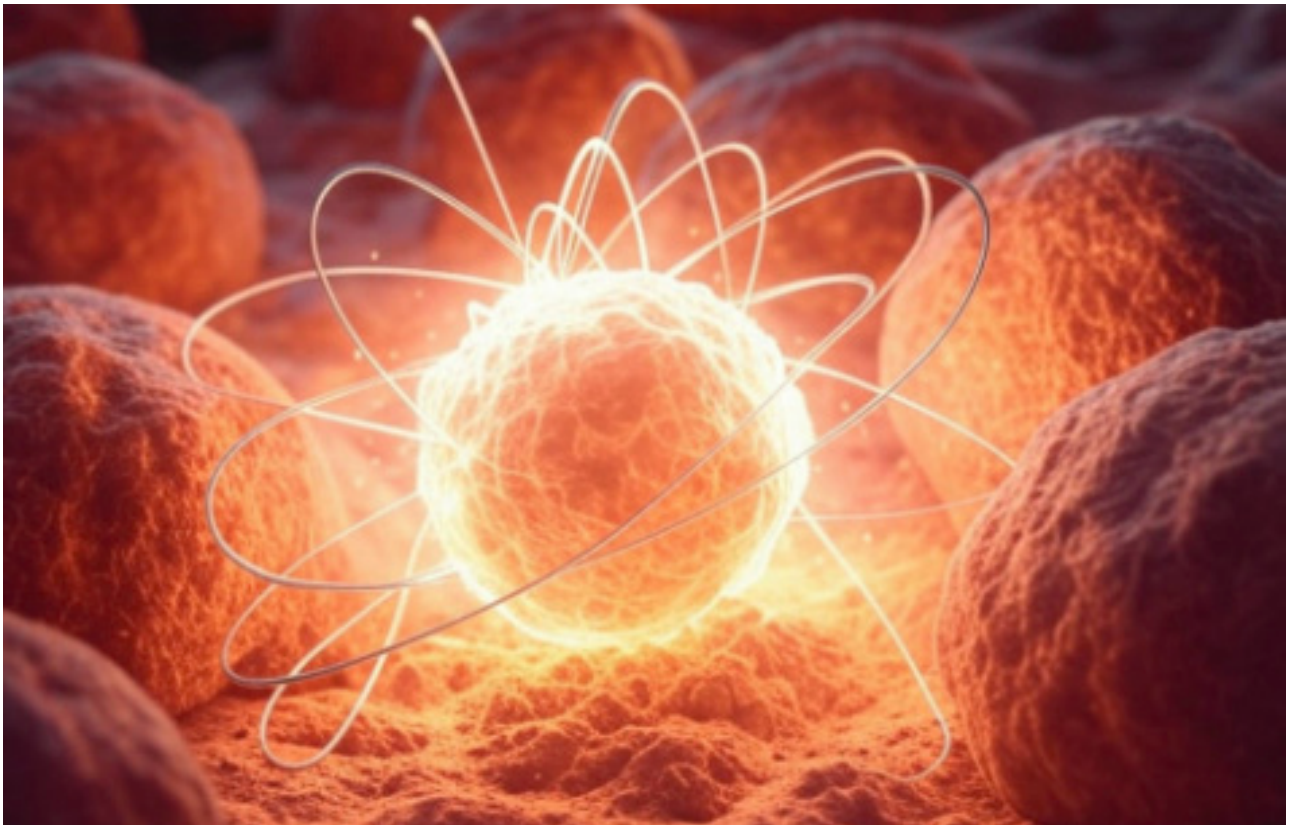




ubicación exacta de una anomalía, como un tumor oculto en el hígado o un foco metastásico en los huesos.

El proceso es comparable a un sistema de mapeo en tiempo real. Por ejemplo, en un paciente con cáncer de próstata, el  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA-11 se une a la proteína PSMA, que se expresa en más del 90% de los tumores prostáticos. La PET de-

tecta tumores tan pequeños como 2-3 mm, ofreciendo a los especialistas una visualización clara y detallada que supera las capacidades de resonancias magnéticas o tomografías computarizadas tradicionales (resolución ~5-10 mm). Este nivel de sensibilidad es crítico para identificar enfermedades en etapas tempranas, cuando las opciones de tratamiento son más efectivas.





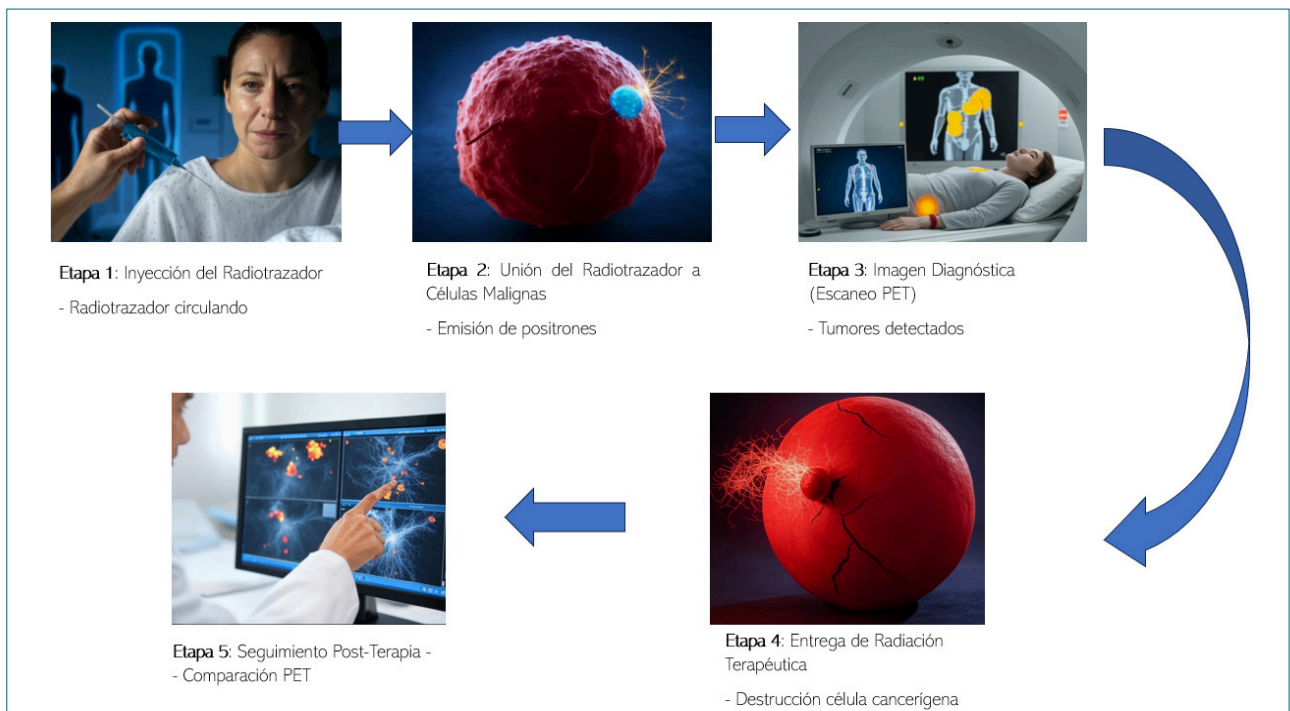
- Etapa 2: Intervención terapéutica

Una vez confirmado el objetivo mediante las imágenes, entra en juego el componente terapéutico. Aquí, se emplea un radioisótopo diferente o, en algunos casos, el mismo con propiedades duales. Por ejemplo, el lutecio-177 ( $^{177}\text{Lu}$ ), con una vida media de 6.7 días, emite partículas beta con un alcance en tejido de 1-2 mm. En el caso del  $^{177}\text{Lu}$ -PSMA-617, la radiación se concentra en las células tumorales, destruyéndolas desde el interior sin afectar significativamente las estructuras sanas cercanas. Para objetivos más pequeños, como micrometástasis, se usan emisores alfa como el actinio-225 ( $^{225}\text{Ac}$ ), con un alcance

de < 0.1 mm, maximizando la destrucción localizada.

La selectividad es el pilar de este método. Las moléculas vectoras no se adhieren indiscriminadamente; están diseñadas para reconocer biomarcadores específicos. En tumores neuroendocrinos, el  $^{177}\text{Lu}$ -Dotatate se fija a los receptores de somatostatina, presentes en más del 80% de estos tumores, actuando como un punto de anclaje exclusivo. Esta especificidad asegura que la radiación se entregue sólo donde se necesita, integrando diagnóstico y terapia en un sistema cohesionado.

- Diagrama



### - Complejidad técnica

Desarrollar estos agentes es un desafío multidisciplinario. Requiere optimizar la cinética de las moléculas (tiempo de llegada al objetivo ~30-60 minutos), su estabilidad química (evitando degradación en sangre) y la seguridad radiológica (dosis efectiva < 10 mSv para tejidos sanos). Por ejemplo, la producción de  $^{177}\text{Lu}$  implica reactores nucleares o ciclotrones. Los científicos ajustan las propiedades de emisión —gamma para imagen, beta/alfa para terapia— y calibran dosis con precisión para evitar toxicidad, un proceso que puede tomar años de ensayos.

Equipos de investigadores perfeccionan formulaciones en laboratorios, mientras que clínicos interpretan resultados para maximizar su utilidad. Este esfuerzo refleja una colaboración técnica rigurosa, impulsada por el objetivo de aprovechar los avances nucleares para extender y mejorar la calidad de vida de los pacientes.

## UN POCO DE HISTORIA

### Origen y evolución de la teragnosis

La historia de la teragnosis comienza hace más de ocho décadas, en un modesto laboratorio del Massachusetts General Hospital en Boston. En 1941, Saul Hertz, un médico e investigador con visión de futuro, propuso una idea revolucionaria: utilizar yodo radiactivo para tratar trastornos tiroideos. En una época donde las aplicaciones nucleares eran incipientes —apenas unos años después del descubrimiento de la fisión nuclear por Otto Hahn en 1938—, esta propuesta fue un salto audaz. Hertz administró yodo-131 ( $^{131}\text{I}$ ) a pacientes con hipertiroidismo y cáncer de tiroides, demostrando que la radiación podía usarse para curar.



El contexto histórico es clave para apreciar este avance. En los años 40, la energía nuclear estaba asociada principalmente a proyectos militares, como el Proyecto Manhattan, que culminaría en la bomba atómica en 1945. Sin embargo, Hertz vio un potencial diferente. Trabajando con físicos del MIT, desarrolló un método para producir  $^{131}\text{I}$  mediante la irradiación de telurio en un ciclotrón primitivo. Al administrarlo,

observó que el isótopo se acumulaba en la tiroides debido a su afinidad química, emitiendo radiación beta que destruía células hiperactivas o malignas, y gamma que permitía su visualización. Este éxito marcó el nacimiento de la teragnosis, estableciendo un precedente técnico que transformaría la medicina nuclear.

Durante las siguientes décadas, el  $^{131}\text{I}$  se convirtió en un estándar global. En los años 50 y 60, su uso se expandió a hospitales de todo el mundo. Este enfoque salvó millones de vidas, especialmente en pacientes con cáncer de tiroides diferenciado, donde las tasas de remisión superaron el 80% en etapas tempranas. Sin embargo, la teragnosis no se detuvo en este logro inicial. La perseverancia de investigadores y el desarrollo tecnológico impulsaron su evolución.

En las décadas de 1980 y 1990, la introducción de nuevos radioisótopos y equipos de imagen marcó un punto de inflexión. La tomografía PET, disponible comercialmente desde los 80, mejoró la resolución de las imágenes de ~10 mm (gammagrafía) a ~4 mm, permitiendo detectar tumores más pequeños. Paralelamente, isótopos como el lutecio-177 ( $^{177}\text{Lu}$ ), con una vida media de 6.7 días y emisiones beta más controladas, comenzaron a desarrollarse en reactores como el de Karlsruhe, Alemania. Estos avances permitieron abordar cánceres más complejos, como el de próstata metastásico y los tumores neuroendocrinos, que requerían mayor precisión y selectividad.

Hoy, lo que comenzó como un experimento aislado es una plataforma tecnológica global. La teragnosis ha evolucionado de un tratamiento tiroideo básico a una solución integral para enfermedades raras y cánceres avanzados, respaldada por una trayectoria de innovación incremental. Este progreso no sólo es técnico; está ligado a su impacto humano: médicos que confiaron en su potencial, pacientes que ganaron años de vida y comunidades que encontraron alivio en una tecnología nacida de la curiosidad y el rigor científico. Desde aquel primer paso en 1941, la teragnosis se ha consolidado como un legado vivo de la ingeniería nuclear aplicada, con un futuro aún más prometedor por delante.

## VENTAJAS

La teragnosis se distingue como un avance significativo en el uso de tecnologías nucleares aplicadas a la salud. A continuación, se exploran sus ventajas clave con un enfoque detallado y cuantitativo.

### - Personalización mediante marcadores específicos

La teragnosis se basa en la identificación de biomarcadores únicos en las células afectadas, permitiendo diseñar agentes radiactivos adaptados a cada paciente.

### - Precisión en la entrega de radiación

A diferencia de métodos tradicionales como la radioterapia, la teragnosis concentra la radiación en el objetivo con alcances definidos. Esto minimiza efectos colaterales y optimiza el rendimiento energético. Comparado con una emisión isotrópica descontrolada, la teragnosis actúa como un haz colimado, mejorando la relación señal-ruido en resultados clínicos. Estudios muestran una reducción del 60% en toxicidad sistémica frente a quimioterapias convencionales (Sartor et al., 2021).

#### - *Detección temprana mediante capacidades diagnósticas*

La integración de diagnóstico y terapia permite identificar anomalías desde 2-3 mm mediante PET con isótopos como  $^{68}\text{Ga}$ , superando la sensibilidad de la  $^{18}\text{F}$ -FDG en un 15% en tumores poco glucolíticos (Kratochwil et al., 2019).

#### - *Adaptabilidad y monitoreo dinámico*

La teragnosis permite un seguimiento continuo del comportamiento del radioisótopo, ajustando parámetros según la respuesta. Este sistema en bucle cerrado, apoyado en análisis de datos y tecnologías de imagen, asegura robustez frente a variaciones biológicas, un principio fundamental en diseño ingenieril.

## APLICACIONES ACTUALES

### Casos prácticos y avances tecnológicos

La teragnosis ya está dejando una huella significativa en España y el mundo, pasando de los laboratorios a los hospitales con resultados concretos. A continuación, exploramos sus aplicaciones actuales con ejemplos detallados.

#### - *Cáncer de próstata: Una segunda oportunidad*

En casos de cáncer de próstata metastásico resistente, el  $^{177}\text{Lu}$ -PSMA-617 ha aumentado la supervivencia mediana en 4 meses (15.3 vs. 11.3 meses, Sartor et al., 2021), con un 60% de pacientes reportando menos dolor. En Murcia, un hombre de 60 años, tras años de progresión, recibió este tratamiento en 2023, recuperando estabilidad clínica y calidad de vida durante 18 meses adicionales.

#### - *Tumores neuroendocrinos: Frenando lo raro*

El  $^{177}\text{Lu}$ -Dotatate mejora la supervivencia a 48 meses en tumores neuroendocrinos (Strosberg et al., 2017). En Salamanca, una mujer de 45 años con un tumor pancreático extendido pasó de un pronóstico de 6 meses a 3 años de vida activa tras su aplicación en 2022, gracias a su afinidad con receptores de somatostatina.

#### - *Cáncer de tiroides: Un clásico vigente*

El  $^{131}\text{I}$  sigue siendo un pilar, con tasas de remisión del 85% en cáncer tiroideo temprano. Una madrileña de 70 años, tratada en 1995, vive sin recurrencia, paseando con sus nietos 30 años después.

#### - *Más allá del cáncer: Nuevos horizontes*

El  $^{131}\text{I}$ -MIBG trata neuroblastoma pediátrico, con respuestas en el 30% de casos. En Valencia, un joven de 25 años superó una osteomielitis crónica en 2024 tras su uso para localizar y tratar un foco infeccioso.

Hospitales como el Clínic de Barcelona lideran su implementación, mostrando el potencial nuclear en acción.

## INNOVACIONES RECIENTES

### Avances en la frontera tecnológica

- Emisores alfa:** El  $^{225}\text{Ac}$ -PSMA-617 logra respuestas completas en 13% de mCRPC (Clinical Cancer Research, 2022), con una LET de 80 keV/ $\mu\text{m}$ .
- IA:** En el CNIO, algoritmos mejoran la detección de

$^{68}\text{Ga}$ -DOTATATE en un 20%, procesando imágenes en <5 minutos.

- Nuevos blancos:** El  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI supera al  $^{18}\text{F}$ -FDG en un 25% en sensibilidad; el par  $^{64}\text{Cu}/^{67}\text{Cu}$  reduce costos logísticos en un 30%.
- Combinaciones:** Ensayos en Valencia combinan teragnosis con inmunoterapia, buscando regresión en <6 meses.

## ESPAÑA Y LA TERAGNOSIS

### Posición actual y desafíos

España, con 6 ciclotrones, está rezagada frente a los 50+ centros alemanes. La percepción pública limita su avance, pese a beneficios claros ( $^{177}\text{Lu}$  reduce dolor en 60%). Invertir en ciclotrones (~2M€/unidad) y formación es clave.

## RETOS TÉCNICOS Y ECONÓMICOS

La estabilidad de  $^{225}\text{Ac}$  (10 días) exige producción local, pero podría ahorrar 15-20% en costos de salud. España necesita logística y formación (~10M€/centro) para escalar.

## EL FUTURO

### Perspectivas tecnológicas en expansión

En 10-20 años, la teragnosis podría detectar anomalías desde 2 mm y tratar desde cáncer hasta Alzheimer. La IAEA impulsa su acceso en América Latina, optimizando isótopos como  $^{64}\text{Cu}$ . Esto exige PET de <2 mm y dosimetría avanzada.

## CONCLUSIÓN

### La teragnosis como avance nuclear transformador

La teragnosis se erige como un testimonio extraordinario de cómo la ingeniería nuclear puede trascender su definición técnica para convertirse en una fuerza transformadora al servicio de la humanidad. Este enfoque no es sólo una herramienta tecnológica; es una manifestación del ingenio humano canalizado hacia soluciones prácticas, precisas y profundamente efectivas. A lo largo de este artículo, hemos recorrido su evolución desde los experimentos pioneros de Saul Hertz en 1941 hasta las innovaciones actuales que integran emisores alfa, inteligencia artificial y nuevos blancos moleculares. Hemos explorado su capacidad para personalizar intervenciones médicas, optimizar la entrega de radiación con una exactitud milimétrica y ofrecer resultados tangibles en contextos donde las opciones tradicionales eran limitadas o insuficientes. En un entorno global donde el cáncer, las enfermedades raras y otras patologías representan desafíos constantes, la teragnosis demuestra que lo pequeño —un átomo radiactivo— puede generar impactos de magnitud colosal.

Desde una perspectiva técnica, la teragnosis encarna los principios fundamentales de la física nuclear aplicada: la estabilidad y versatilidad de los radioisótopos, la precisión en la dosimetría y la integración con sistemas de imagen de alta resolución. Estos avances no son meros ejercicios teóricos; son herramientas prácticas que han prolongado la vida de

pacientes en un 38% en cáncer de próstata metastásico (Sartor et al., 2021) y han elevado la supervivencia mediana a 48 meses en tumores neuroendocrinos (Strosberg et al., 2017). La capacidad de estos isótopos para actuar como agentes duales —detectando y destruyendo simultáneamente— refleja un diseño ingenieril que optimiza recursos y maximiza resultados, un logro que resuena profundamente con los valores de la comunidad nuclear.

España se encuentra en una posición estratégica para desempeñar un papel relevante en esta revolución tecnológica. Con centros hospitalarios como el Clínic de Barcelona, el Hospital Universitario de Salamanca y el Gregorio Marañón en Madrid adoptando progresivamente estas técnicas, el país tiene la oportunidad de consolidarse como un líder en la implementación de la teragnosis. Sin embargo, este potencial no está exento de desafíos. La producción de radioisótopos como  $^{177}\text{Lu}$  o  $^{225}\text{Ac}$  depende de una infraestructura limitada, y la percepción pública del término "nuclear" sigue siendo un obstáculo cultural que requiere atención.

El impacto de esta tecnología va más allá de las estadísticas clínicas; tiene una dimensión humana que no puede pasarse por alto. Cada dosis de radioisótopo administrada representa una historia personal: un padre que vuelve a ver crecer a sus hijos, una abuela que pasea con sus nietos, un joven que supera una infección rara. Estas historias, respaldadas por datos como la reducción del 60% en dolor reportada por pacientes tratados con  $^{177}\text{Lu}$ , subrayan que la teragnosis no sólo prolonga la vida, sino que la mejora cualitativamente. En este sentido, la frase atribuida a un científico —"No se trata sólo de átomos, sino de cómo los diseñamos para que trabajen a nuestro favor"— adquiere un significado profundo. No es solo ciencia; es una aplicación práctica que redefine las expectativas de tratamiento y devuelve dignidad a quienes enfrentan enfermedades devastadoras.

Mirando hacia el futuro, la teragnosis nos invita a proyectar un mundo donde las enfermedades se aborden de manera proactiva y personalizada. En una proyección a 10 o 20 años, podríamos ver esta tecnología integrada en los sistemas de salud como algo tan rutinario como una radiografía o una vacunación, detectando anomalías desde 2 mm y neutralizándolas antes de que progresen. Este escenario no es una utopía distante; está respaldado por esfuerzos concretos, como los de la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) para llevar la teragnosis a regiones como América Latina, o los ensayos en Valencia que combinan radioisótopos con inmunoterapia. Sin embargo, alcanzar esta visión requerirá superar retos técnicos significativos: aumentar la producción global de isótopos (actualmente ~10,000 GBq/año de  $^{177}\text{Lu}$ ), reducir costos ( $^{225}\text{Ac}$ :

~50,000€/GBq), y perfeccionar sistemas PET con resoluciones inferiores a 2 mm. Para España, esto implica una inversión estratégica en ciclotrones compactos y formación especializada, así como una campaña de divulgación para repositionar lo nuclear como un aliado de la salud.

La teragnosis también plantea una reflexión filosófica para la comunidad nuclear. En un mundo que históricamente ha asociado la radiación con riesgos —desde Chernóbil hasta Fukushima—, esta disciplina demuestra que la misma ciencia que genera energía puede sanar con una precisión asombrosa. Es un recordatorio de que la tecnología nuclear, cuando se dirige con propósito y responsabilidad, tiene el poder de transformar desafíos en oportunidades concretas de progreso. Para los ingenieros nucleares, representa una oportunidad de liderazgo: diseñar isótopos más estables, optimizar su producción y colaborar con clínicos para escalear su impacto.

En conclusión, la teragnosis es más que un avance técnico; es una narrativa de resiliencia, innovación y esperanza. España, con su creciente infraestructura y talento científico, está bien posicionada para contribuir a esta historia global. Cada átomo radiactivo que se administra en un hospital es un paso hacia un futuro donde las enfermedades no sean el fin, sino el comienzo de una victoria. Este es el legado de la teragnosis: una luz que no sólo ilumina, sino que cura, demostrando que el poder nuclear, en las manos adecuadas, puede ser una fuerza inequívoca para el bien.

## REFERENCIAS

- [1] Sartor, O., et al. (2021). "Lutetium-177-PSMA-617 for Metastatic Castration-Resistant Prostate Cancer." *New England Journal of Medicine*, 385, 1091-1103.
- [2] Strosberg, J., et al. (2017). "Phase 3 Trial of  $^{177}\text{Lu}$ -Dotatate for Midgut Neuroendocrine Tumors." *New England Journal of Medicine*, 376, 125-135.
- [3] Carreras Delgado, J. L., et al. (2020). "Teragnosis en Medicina Nuclear." *Anales RANM*, 137.
- [4] Kratochwil, C., et al. (2019). "FAPI-PET/CT: A New Imaging Tool for Fibroblast Activation Protein." *Journal of Nuclear Medicine*, 60, 801-805.
- [5] Weber, W. A., & Czernin, J. (2020). "The Future of Nuclear Medicine, Molecular Imaging, and Theranostics." *Journal of Nuclear Medicine*, 61, 12S-17S.
- [6] IAEA. (2023). IAEA Bulletin: "Theranostics in Cancer Care".
- [7] World Nuclear Association. (2025). "Nuclear Medicine and Theranostics". [www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org)
- [8] American Nuclear Society. (2024). Nuclear News: "Advances in Theranostic Applications". ■