

Artículo Especial

Medicina Nuclear en España: Historia, Desarrollo y Futuro de la Especialidad

Edel Noriega Álvarez^{1,*}

¹ Responsable del Sº de Medicina Nuclear en Hospital Universitario de Guadalajara; edelnoriega@gmail.com; ORCID: 0000-0002-2725-8920

* Autor correspondencia: edelnoriega@gmail.com; ORCID: 0000-0002-2725-8920; Tel.: +34-651-526-973

DOI: <https://doi.org/10.37536/RIECS.2024.9.2.441>

Resumen: La Medicina Nuclear en España ha evolucionado significativamente desde sus inicios en los años 40, con avances en tecnología y radiofármacos que han permitido la transición hacia una especialidad médica esencial para el diagnóstico y tratamiento de diversas patologías. Reconocida oficialmente en 1978, la especialidad ha estado marcada por el desarrollo de técnicas como SPECT, PET y cirugía radioguiada, y por el uso de radiofármacos en oncología, cardiología y neurología. Actualmente, el enfoque teragnóstico en Medicina Nuclear, que combina diagnóstico y tratamiento personalizado, está revolucionando el manejo de enfermedades como el cáncer de tiroides, tumores neuroendocrinos y cáncer de próstata. En este contexto, la SEMNIM y otros organismos buscan modernizar la especialidad mediante la implementación de nuevas tecnologías, la formación continua y la investigación de radiofármacos avanzados. Con la adopción de la teragnosis y el potencial de la inteligencia artificial, la Medicina Nuclear se encuentra en una encrucijada, donde se espera que su papel clínico se amplíe considerablemente, orientándose hacia una medicina más precisa y personalizada que responde a las crecientes necesidades de los pacientes.

Palabras Clave: Medicina Nuclear, Especialidad, Diagnóstico, SPECT/TC, PET/TC, Tratamiento, Investigación.

Abstract: Nuclear Medicine in Spain has developed significantly since its beginnings in the 1940s, with advances in technology and radiopharmaceuticals that have allowed the transition to an essential medical speciality for the diagnosis and treatment of various pathologies. Officially recognised in 1978, the speciality has been characterised by the development of techniques such as SPECT, PET and radioguided surgery, and using radiopharmaceuticals in oncology, cardiology and neurology. Nowadays, the theragnostic approach in Nuclear Medicine, which combines diagnosis and personalised treatment, is revolutionising the management of diseases such as thyroid cancer, neuroendocrine tumours and prostate cancer. In this context, SEMNIM and other organisations are seeking to modernise the speciality through the implementation of new technologies, continuing education and research into advanced radiopharmaceuticals. With the adoption of teragnostics and the potential of artificial intelligence, Nuclear Medicine is at a crossroads, where its clinical role is expected to expand considerably, moving towards a more precise and personalised medicine that responds to the growing needs of patients.

Key words: Nuclear Medicine, Speciality, Diagnostics, SPECT/CT, PET/CT, Treatment, Research.

1. Historia de la Medicina Nuclear

La Medicina Nuclear (MN) inicia su desarrollo a finales de los años 40, momento en el que se comienza a utilizar la energía nuclear con fines médicos. En 1946 se construye el primer reactor

productor de radionúclidos para medicina y en 1951 se construye el scanner con cristal de centelleo, que permite realizar las primeras gammagrafías.

Describir con cierto detalle la historia de la MN es muy amplio y nos limitaremos a reseñar aquellos hechos que han configurado esencialmente el estado actual de la especialidad:

- 1895: Descubrimiento de los Rayos X – Roentgen.
- 1896: Descubrimiento de la radioactividad de uranio – Becquerel.
- 1898: Descubrimiento de la radioactividad natural – Marie Curie.
- 1913: Desarrollo del concepto de isotopía – Soddy.
- 1923: Primera utilización de los trazadores en la exploración biológica – Hevesey.
- 1927: Puesta a punto de un detector de radiaciones – Geiger y Müller.
- 1931: Construcción del primer ciclotrón.
- 1934: Descubrimiento radioactividad artificial – Curie y Joliot.
- 1938: Primeros estudios de la fisiología del tiroides (131I).
- 1939: Primeras aplicaciones terapéuticas.
- 1946: Construcción del primer reactor productor de radionúclidos.
- 1951: Construcción del Scanner con cristal de centelleo de yoduro sódico, que permite realizar las primeras gammagrafías – Reed y Libby.
- 1952: El término “Medicina Nuclear” sustituye al de “Medicina Atómica” que se había empleado hasta entonces.
- 1956: Desarrollo del radio Inmunoanálisis.
- 1962: Aparición de los generadores de ^{99m}Tc , con cualidades idóneas como trazadores y posibilidades de unión a diversos fármacos.
- 1963: Construcción de la cámara de centelleo. Hal O. Anger desarrolló este dispositivo conocido como la “Cámara de Anger”.
- 1963: Desarrollo de la técnica de SPECT por D. E. Ju. Jul.
- 1975: Desarrollo de la técnica de PET por M. M. Ter Pogossian, M. E. Phelps y E. J. Hoffmann.

En los últimos años la MN ha vivido un gran desarrollo, gracias a los cambios tecnológicos derivados de la aparición de nuevos radiofármacos y a la innovación en equipamiento. Entre las últimas técnicas incorporadas al ámbito asistencial hay que destacar la cirugía radioguiada y la Tomografía por Emisión de Positrones (PET).

2. Reconocimientos e inicio de la especialidad de MN en

Es una especialidad médica reconocida por nuestro Sistema Nacional de Salud (SNS), Ministerio de Sanidad y Consumo y Ministerio de Educación y Ciencia desde 1978, antes estaba englobada en la denominación de Electrorradiología, al igual que Radiodiagnóstico, Radioterapia y Rehabilitación. La especialidad de MN se creó en España en 1978, mediante el Real Decreto 480/1978, de 10 de febrero [1], por el que se crea la especialidad médica de MN. La MN, según la OMS, se puede definir como aquella especialidad médica que, con finalidades diagnósticas, terapéuticas y de investigación, emplea fuentes radiactivas no encapsuladas. La Sociedad Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular (SEMNUM) define la especialidad de igual forma, pero incluye el empleo de las radiaciones procedentes del núcleo atómico. La MN tiene una estrecha relación con diversas ciencias básicas y aplicadas, como la Física, Química, Electrónica, Cibernética y Farmacia, y con otras ramas de la Medicina como Fisiología, Fisiopatología, Radiodiagnóstico y otras técnicas de diagnóstico por la imagen.

El programa oficial de la Especialidad (POE) desarrollado por la Comisión Nacional de MN se publicó en el BOE el 25 de abril de 1996[2].

La especialidad de MN actualmente está viviendo un cambio de paradigma, tanto por la llegada de equipamientos tecnológicos innovadores que mejoran el diagnóstico de enfermedades, como por la comercialización de nuevos radiofármacos. Sin embargo, en España, la especialidad de MN cuenta con un programa formativo que no se actualiza desde 1996. El artículo 21 de la Ley 44/2003, de 21 de

noviembre [3], establece el procedimiento para aprobar los programas formativos de las especialidades sanitarias en Ciencias de la Salud, previendo su publicación en el Boletín Oficial del Estado para general conocimiento, señalando que los programas serán periódicamente revisados y actualizados. Para dar cumplimiento a este requerimiento así como a lo determinado en el artículo 7 del Real Decreto 589/2022, de 19 de julio [4], la Comisión Nacional de la especialidad de MN presentó el 24 de abril de 2024 un informe de viabilidad en el que se justificó detalladamente que dicha especialidad sigue respondiendo a los criterios definidos en el anexo I del citado real decreto [5].

La Comisión Nacional de la Especialidad de MN, de acuerdo con lo dispuesto en los artículos 21.2 y 28.8 de la Ley 44/2003, de 21 de noviembre[3], ha elaborado el programa formativo de su especialidad, así como los criterios de evaluación de las personas especialistas en formación que han sido ratificados por el Consejo Nacional de Especialidades en Ciencias de la Salud, órgano asesor del Ministerio de Sanidad y del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades en materia de formación sanitaria especializada. Este programa incluye las competencias transversales de las especialidades en Ciencias de la Salud reguladas en el capítulo II del Real Decreto 589/2022, de 19 de julio [4].

3. La formación como especialista en MN en España

El sistema de residencia para el acceso al título de Médica/o especialista en MN comprende un período formativo de cuatro años a través del sistema Médico interno residente (MIR). La formación de esta especialidad en Ciencias de la Salud se realizará en las unidades docentes de MN, según lo previsto en el anexo II del Real Decreto 183/2008, de 8 de febrero [6], por el que se determinan y clasifican las especialidades en Ciencias de la Salud y se desarrollan determinados aspectos del sistema de formación sanitaria especializada.

El Proyecto de Orden por la que se aprueba y publica el Programa formativo de la especialidad de MN, los criterios de evaluación de los especialistas en formación y los requisitos de acreditación de las unidades docentes de MN se aplicarán a los residentes de la especialidad de MN que obtengan plaza en formación en unidades docentes de dicha especialidad a partir de la convocatoria 2024-2025 [5].

Los tutores organizarán un plan individual de formación, garantizando el cumplimiento de la Guía o itinerario formativo aprobada por la Comisión de docencia, y asegurando que las personas residentes alcanzan los objetivos docentes especificados en este POE. El periodo de estancias formativas en otras especialidades se adecuará a lo establecido en la legislación vigente. Por ello, se elabora una propuesta de desarrollo del POE para cuatro años que contempla cuarenta y cuatro meses de rotación en diferentes dispositivos docentes, excluyendo los cuatro meses correspondientes a los periodos vacacionales anuales. De forma general y con respecto a la adquisición de las competencias relacionadas con las patologías urgentes, los residentes realizarán entre 3 y 4 guardias al mes, contemplándose las urgencias hospitalarias generales obligatorias solo en el primer año de formación, pudiendo complementar las jornadas de tarde de Radiología y MN el resto de los años de residencia.

El aprendizaje de estas competencias a lo largo de la residencia harán del futuro especialista un médico integral, que podrá proporcionar respuesta a los problemas de sus pacientes cuando su ejercicio sea independiente, gracias también a su supervisión y tutorización por profesionales de mayor experiencia, que compartirán con el residente el aprendizaje de años de experiencia y tratamientos de cientos de enfermos, con la perspectiva personal y profesional que ello aporta.

3.1. Motivos para la elección de la especialidad

- Principalmente se considera esta especialidad frente a otras, por tratarse de un campo de reciente creación con una marcada orientación tecnológica.
- Muchas posibilidades para la innovación, experimentación y creatividad.

- Se trata de un área de la medicina que podría estar en permanente evolución con los nuevos avances de la tecnología.
- Además, ofrece una jornada de trabajo “predecible” con una duración más o menos estable y determinada de antemano.
- Variedad de problemas tratados
- Contacto con el paciente, pero centrado en lo estrictamente importante.

Los especialistas han elegido Medicina Nuclear frente a otras como:

- Urgencia (por ser demasiado estresante).
- Radiología o Patología (por tener escaso contacto con el paciente).
- Atención primaria (ya que consideran difícil poder estar lo suficientemente preparado en todas las áreas que comprende).

4. Actividad asistencial, científica, institucional y de investigación en MN en España

La MN es una especialidad médica dedicada primordialmente al diagnóstico de pacientes (mediante el uso de sustancias marcadas con radioisótopos, proporcionando una información funcional), y a la terapia metabólica (mediante fuentes radiactivas no encapsuladas).

¿Como se diferencia de los Rayos X o de la Tomografía Computarizada?:

- La radiación no es emitida a través del paciente por una máquina, sino que los elementos radiactivos se liberan dentro del cuerpo por un breve espacio de tiempo y son detectados por un equipo especial (gammacámara o tomógrafo PET).
- La MN se focaliza aporta información funcional de un órgano más que estructural como ocurre con la Radiología.

Las principales áreas de actuación de la MN son el diagnóstico por imagen y el tratamiento de determinadas enfermedades mediante el uso de radiofármacos. En el ámbito diagnóstico, después de la administración del radiofármaco, es posible obtener imágenes de la práctica totalidad de órganos y sistemas, aportando información metabólica y funcional del paciente. La MN mantiene una mayor colaboración y trabajo en equipo con especialidades como oncología, neurología y cardiología. La introducción de las técnicas de tomografía computarizada por emisión de fotón único (SPECT), la PET y la cirugía radioguiada potenciaron aún más las indicaciones clínicas de exploraciones de MN (Figura 1).

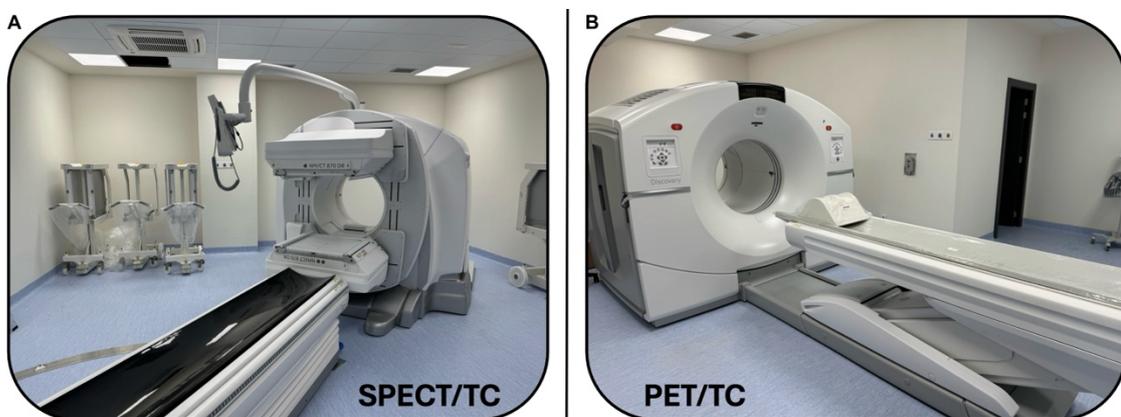


Figura 1 Equipos de diagnóstico por imagen del Servicio de Medicina Nuclear. Hospital Universitario de Guadalajara. A) SPECT/TC B) PET/TC.

En el ámbito terapéutico, además del tratamiento clásico del cáncer de tiroides y el hipertiroidismo, se dispone también de radiofármacos dirigidos al tratamiento metabólico de otras patologías, como metástasis óseas, tumores neuroendocrinos o el cáncer de próstata, entre otros.

¿Cómo es un día normal de trabajo?

Los facultativos de MN desarrollan funciones en los ámbitos asistencial, investigador, docente, de gestión clínica, de prevención, y de información y educación sanitarias. Un departamento eficiente de MN depende principalmente de una buena programación de los pacientes para un flujo de trabajo adecuado.

- La jornada se divide habitualmente en tareas clínicas, administrativas, enseñanza y actividades de investigación.
- La MN incluye varios tipos de exploraciones, cada una con su propia escala de tiempo, preparación y diversas complicaciones.
- El diagnóstico por imagen es el tipo de exploración más común que la mayoría de los centros programan de forma rutinaria.
- El trabajo de los facultativos de MN incluye la supervisión de los procedimientos terapéuticos y diagnósticos, así como su interpretación.
- Durante de la jornada laboral prácticamente no existen avisos por urgencias, circunstancia valorada positivamente, ya que permite dedicar tiempo a la investigación, redacción de publicaciones, preparación de conferencias, etc. [7]

4.1. Competencias específicas de la especialidad de MN.

Las competencias específicas de la especialidad de MN (un total de 40), se agrupan en los siguientes dominios (ver Tabla 1):

- Dominio 1: Radiobiología y Radiofísica (2 competencias).
- Dominio 2: Radiofarmacia (3 competencias).
- Dominio 3: Protección radiológica y Calidad (2 competencias).
- Dominio 4: Equipos de imagen, contrastes radiológicos y radiofármacos (5 competencias).
- Dominio 5: Aplicación Clínica (10 competencias).
- Dominio 6: Procedimientos diagnósticos (9 competencias).
- Dominio 7: Procedimientos terapéuticos (Teragnosis) (4 competencias).
- Dominio 8: Cirugía Radioguiada (5 competencias).

Tabla I Tabla de competencias específicas de la especialidad de MN[1].

Dominio	Competencias específicas
Radiobiología y Radiofísica	- Conocer las bases físicas de las radiaciones y los aspectos técnicos de los procedimientos utilizados en radiodiagnóstico y MN ¹ para la obtención de imágenes. - Conocer los efectos biológicos, somáticos y genéticos de las radiaciones ionizantes.
Radiofarmacia	- Conocer la preparación básica de los radiofármacos: equipos reactivos, células autólogas, moléculas biológicas

Protección radiológica y Calidad	<ul style="list-style-type: none"> - Conocer los controles de calidad básicos de los radiofármacos y los factores que pueden afectar a la pureza y estabilidad de los compuestos marcados. - Interpretar técnicas “in vivo” con radiofármacos, básicas del laboratorio de MN. - Aplicar la normativa relacionada con la solicitud, recepción, almacenamiento, distribución, manipulación y gestión del material radiactivo. - Minimizar la exposición radiactiva al trabajador profesionalmente expuesto, paciente, público en general y medio ambiente, según las características específicas de cada uno de los procedimientos que utilizan radiotrazadores.
Equipos de imagen, contrastes radiológicos y radiofármacos	<ul style="list-style-type: none"> - Conocer el fundamento y funcionamiento de los equipos de imagen, sus criterios y parámetros de calidad técnicos, así como la normativa legal que les aplica. - Prescribir y administrar los radiofármacos de diagnóstico y terapéuticos, así como los dispositivos médicos administrables o implantables. - Optimizar todas las actuaciones asegurando una adecuada calidad diagnóstica con la mínima dosis de radiación. - Optimizar la terapia con radiofármacos y dispositivos médicos implantables. - Detectar y tratar de inicio las extravasaciones y las posibles reacciones a contrastes radiológicos y radiofármacos.
Aplicación Clínica	<ul style="list-style-type: none"> - Conocer las bases anatómicas, funcionales y moleculares de las diferentes técnicas de imagen. - Conocer las condiciones biológicas, maniobras y recursos que mejoren la calidad de las imágenes de los distintos procedimientos diagnósticos. - Seleccionar las pruebas de imagen atendiendo a su pertinencia, eficacia diagnóstica y orden de priorización en las diferentes situaciones clínicas. - Aplicar las diferentes herramientas de post-procesado y los programas de fusión de diferentes modalidades de imágenes. - Evaluar la calidad e idoneidad de las imágenes obtenidas. - Interpretar las pruebas diagnósticas aplicando criterios semiológicos e identificando posibles distorsiones en las imágenes. - Aplicar las herramientas de análisis y cuantificación de los parámetros biológicos obtenidos mediante los procedimientos de imagen. - Conocer las bases radiobiológicas de la acción terapéutica de los radionúclidos utilizados en terapia. - Conocer la historia natural (etiología, patogenia y abordaje terapéutico) de las enfermedades que pueden tratarse con radionúclidos. - Prescribir y administrar el radiofármaco o el dispositivo médico administrable o implantable más adecuado para cada aplicación terapéutica.
Procedimientos diagnósticos	<ul style="list-style-type: none"> - Informar pruebas de aplicación en Aparato Cardiovascular. - Informar pruebas de aplicación en Sistema Respiratorio. - Informar pruebas de aplicación en Aparato Digestivo.

	<ul style="list-style-type: none"> - Informar pruebas de aplicación en Sistema Nervioso. - Informar pruebas de aplicación en Sistema Urinario. - Informar pruebas de aplicación en Sistema Musculoquelético y Osteoarticular. - Informar pruebas de aplicación en Sistema Endocrino. - Informar pruebas de aplicación en Oncología. - Asistir y colaborar en procesos intervencionistas guiados con TC y ecografía.
Procedimientos terapéuticos (Teragnosis)	<ul style="list-style-type: none"> - Tratar con radionúclidos a pacientes hipertiroideos. - Tratar con radionúclidos a pacientes con cáncer de tiroides. - Tratar con radiofármacos otras patologías. - Prevenir y tratar los posibles efectos adversos de la radiación, incluidos los cancerígenos, teratogénicos y mutagénicos.
Cirugía Radioguiada	<ul style="list-style-type: none"> - Conocer la organización y el funcionamiento del área quirúrgica. - Manejar los diferentes equipos utilizados en cirugía radioguiada. - Administrar radiofármacos y otros trazadores híbridos por las diferentes vías utilizadas para la cirugía radioguiada. - Realizar la detección del Ganglio Centinela (imagen prequirúrgica + detección intraoperatoria) en distintas neoplasias. - Realizar procedimientos de Cirugía Radioguiada (imagen prequirúrgica + detección intraoperatoria) en otras indicaciones distintas al ganglio centinela.

¹ MN: Medicina Nuclear.

Además, se deberían adquirir habilidades de comunicación interprofesional, pes es crucial en un entorno multidisciplinario, especialmente en la MN, donde la colaboración con oncólogos, radiólogos y otros especialistas es vital.

4.2. La sociedad científica SEMNIM

La SEMNIM se ha propuesto situar a la sociedad como referente ante la administración, a nivel asistencial, del resto de especialidades médicas y de la industria; la visibilidad y posicionamiento de la especialidad; y la orientación al socio, mediante la promoción de recursos y actividades que generen valor para los asociados. Todo ello sin dejar de trabajar en la estandarización y en la calidad asistencial y seguridad del paciente.

Esta sociedad científica es la máxima asociación representativa de los médicos nucleares a nivel nacional y en el ámbito de la formación, la sociedad ofrece diversas actividades formativas.

La SEMNIM emprende el camino para ser una sociedad científica y profesional de referencia a nivel nacional e internacional, fuente de opinión y conocimiento riguroso sobre MN para los pacientes, las instituciones sanitarias y académicas y la sociedad, con prestigio en las áreas más relevantes de su dimensión asistencial, docente, investigadora y de gestión.

La SEMNIM colabora con otras sociedades médicas y científicas, con los organismos oficiales y con otras organizaciones relacionadas con la salud. Se está fortaleciendo la red de alianzas para lograr posicionar la sociedad en el principal referente de la Administración, para canalizar las necesidades y expectativas de la especialidad y lograr la participación de nuestros profesionales en la toma de decisiones que atañan a la organización y el funcionamiento del SNS en los aspectos relacionados con nuestra especialidad [8].

Por un lado, la SEMNIM lleva a cabo su Congreso Nacional anual y, por otro lado, la sociedad se encuentra en proceso de cambio de su metodología de formación virtual. Así, en los próximos cursos se implementará una nueva plataforma formativa que nos permitirá dar formación de manera más dinámica e interactiva con el alumnado, será accesible a todos los socios y que será compatible con sesiones presenciales en algunos de los cursos. Además, la web de la sociedad (disponible en

<https://semnim.es/>) cuenta con el Canal SEMNIM TV, que incluye las grabaciones de congresos anteriores y otras actividades formativas.

En cuanto a la actividad investigadora, se encuentra la Revista Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular, fundada en 1982 y constituyéndose como el órgano oficial de expresión de esta sociedad científica. De carácter bimestral, la publicación científica está abierta a la participación de los médicos nucleares, tanto socios como no socios. Su objetivo es promocionar la investigación y la formación continuada en todos los ámbitos de la MN.

En colaboración con la Comisión Nacional de la Especialidad, la SEMNIM potencia una formación integral en MN, cumpliendo con un programa común en nuestro país que asegure la mejor asistencia a los pacientes y la gestión óptima los sistemas de salud. Además, a través del modelo unificado de formación, imagen y terapia molecular de la SEMNIM permitirá a sus socios una actualización continua en los avances tecnológicos, así como las innovaciones diagnósticas y terapéuticas. Porque desde la SEMNIM se quiere cuidar a los socios, atendiendo sus necesidades formativas y científicas, y a los pacientes, con una atención segura y de mejora continua de la calidad para que puedan acceder a las mejores técnicas de imagen y tratamientos disponibles, en manos de profesionales competentes y comprometidos [8].

5. Retos actuales y futuros de la especialidad

La tecnología de la MN es una profesión exigente y sofisticada donde los continuos avances en tecnología, radiofármacos, procedimientos y atención al paciente la convierten en una de las profesiones sanitarias que evoluciona con mayor rapidez. Por ejemplo, han aparecido nuevas dianas para la obtención de imágenes, como la glucosa marcada para la obtención de imágenes del cáncer, los trazadores de somatostatina marcados para la obtención de imágenes de enfermedades neuroendocrinas o la beta CIT dirigida al transportador de dopamina para la investigación de pacientes con trastornos del movimiento. También se está avanzando en la obtención de imágenes de la enfermedad de Alzheimer, la placa aterosclerótica, la angiogénesis y la hipoxia. La detección de ganglios linfáticos centinela ha cambiado el tratamiento quirúrgico de las pacientes con cáncer de mama precoz. Al mismo tiempo, todos los procedimientos diagnósticos se han beneficiado de importantes avances en la instrumentación y, en los últimos 5 años, la aparición de la imagen multimodal se ha convertido en rutina.

La terapia de MN también ha ido creciendo mucho más allá del tratamiento establecido de las enfermedades benignas y malignas del tiroides. El ^{131}I , unido a la metayodobencilguanidina, se utiliza en el tratamiento de neoplasias neuroendocrinas, como feocromocitomas y neuroblastomas. Están apareciendo nuevos ligandos dirigidos a los subtipos de receptores SS_2 , marcados con ^{90}Y , ^{177}Lu y otros radionucleidos. La paliación del dolor en las enfermedades metastásicas y esqueléticas avanzadas de próstata y mama ya está disponible, y un tercio de los pacientes muestran una respuesta excelente a diversos radionucleidos, como el cloruro de ^{89}Sr , el ^{186}Re como etidronato y el ^{153}Sm como fosfonato de etileno-diaminetetrametileno. Varios anticuerpos marcados se han introducido en ensayos clínicos y algunos ya han sido aprobados como opciones de tratamiento más específicas, como el Ibritumomab tiuxetan (Zevalin®) marcado con ^{90}Y o el tositumomab (Bexxar®) marcado con ^{131}I .

De igual manera que en el resto de los países europeos, el futuro de la MN dependerá en gran parte del desarrollo de tecnología innovadora y de la aplicación clínica de nuevos radiofármacos. En este futuro prometedor jugará un papel muy importante la implantación de la tecnología PET en todo el país, que implicará la incorporación de más tomógrafos PET y la puesta en marcha de más ciclotrones. Los retos futuros de la MN están estrechamente relacionados con los avances tecnológicos y las necesidades de los pacientes.

5.1. Teragnosis, la Revolución de la MN

Ante este contexto de evolución de la especialidad por el rápido crecimiento en el ámbito de la tecnología y la llegada de nuevos radiofármacos, la especialidad está viviendo una revolución con la llegada de la teragnosis.

La teragnosis en MN consiste en emplear moléculas unidas a isótopos radiactivos para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades. Esta modalidad ha experimentado un rápido desarrollo durante las últimas décadas, apoyando la “terapia dirigida” y la “medicina personalizada” gracias a la investigación de un amplio abanico de dianas moleculares.

La teragnosis se emplea durante años en el cáncer de tiroides y en hipertiroidismo y, actualmente se está implementado en otras entidades como los tumores neuroendocrinos y el cáncer de próstata [9].

Tumores neuroendocrinos: se emplean ligandos capaces de unirse a algunos receptores de somatostatina marcados con ^{68}Ga para uso diagnóstico en la valoración inicial de estos pacientes y con ^{177}Lu para destrucción de células tumorales en pacientes metastásicos e inoperables. El ^{177}Lu tiene también una baja proporción de emisión γ que permite confirmar la biodistribución mediante gammagrafía/SPECT [10,11].

Cáncer de próstata: se emplea como blanco el PSMA (antígeno prostático específico de membrana), una glicoproteína sobreexpresada en tumores prostáticos. Para el diagnóstico se utiliza el ^{68}Ga -PSMA-11 y para tratamiento se emplea el ^{177}Lu -PSMA-617 que desencadena la muerte celular selectiva de las células tumorales prostáticas, indicado en pacientes metastásicos y en progresión a pesar de otros tratamientos [12]. Asimismo, el ^{225}Ac , también está emergiendo como un importante radionúclido para la terapia alfa dirigida [13].

5.2. Desarrollo de nuevos radiofármacos

La investigación y desarrollo de nuevos radiofármacos con mejores propiedades farmacocinéticas y mayor especificidad es esencial para ampliar las aplicaciones de la MN. Por ejemplo, se está investigando el uso de radiofármacos con afinidad por la Proteína de Activación de Fibroblastos (FAP) expresada en diferentes tumores, el ligando es derivado de quinoleínas con actividad inhibidora de la FAP, conocido como Inhibidor de la Proteína de Activación de Fibroblastos (FAPI) [14], presente en el estroma de diversas neoplasias. Para su diagnóstico se está empleando el ^{68}Ga -FAPI-04 con rápida distribución tumoral y excelente contraste de imagen. Aunque hay poca evidencia es un radiofármaco prometedor debido a su facilidad de combinación con radionucleidos terapéuticos.

Debido a la alta efectividad que está demostrando la teragnosis, se está convirtiendo en una de las primeras opciones terapéuticas en muchas patologías. Hasta el momento, prácticamente el 85% de la actividad en MN es el diagnóstico por imagen, pero con la llegada de la teragnosis, el panorama va a cambiar radicalmente y el tratamiento será, progresivamente, otra de nuestras grandes responsabilidades.

Independientemente de que realicemos diagnóstico o tratamiento, en ambos casos necesitamos una adecuada disponibilidad de radiofármacos en España.

En este sentido, otra de las reivindicaciones de la SEMNIM es la agilización en España de los procesos de autorización y disponibilidad de nuevos radiofármacos, diagnósticos y terapéuticos, así como mejorar la autorización de las instalaciones de los Servicios de MN para usar estos nuevos radiofármacos. En concreto, piden a las administraciones que tomen conciencia de lo que supone la teragnosis para permitir su aplicación adecuada mediante la incorporación de áreas específicas en hospitales de día e incrementar el número de especialistas en MN proporcionales a la actividad prevista.

5.3. Inteligencia artificial

La aplicación de la inteligencia artificial a la MN permitirá analizar grandes cantidades de datos de imágenes, mejorar la detección de lesiones y facilitar la toma de decisiones clínicas. La IA podría impulsar el análisis de datos más allá de la aplicación actual hacia la predicción de resultados y la evaluación de riesgos a largo plazo [15].

6. Conclusiones

La MN se encuentra en un momento de gran dinamismo y transformación. Los retos actuales y futuros se centran en mejorar la precisión diagnóstica, optimizar los tratamientos, garantizar la seguridad de los pacientes y ampliar las aplicaciones de esta especialidad. La teragnosis en MN ha evolucionado de forma exponencial en los últimos años gracias a la investigación de múltiples dianas moleculares, relacionado con la orientación actual hacia una medicina más personalizada y de precisión. El rápido desarrollo de la teragnosis respalda un cambio significativo en la medicina, especialmente en el tratamiento de estadios más precoces de enfermedades oncológicas y, aunque hasta ahora no hay indicaciones demostradas en patologías benignas, ya hay líneas de investigación que nos hacen pensar en su papel potencial en este sentido.

Agradecimientos: A todos los que han trabajado a lo largo de la historia para conseguir el desarrollo de la MN en España.

Conflictos de Intereses: los autores no declaran conflicto de intereses.

Abreviaturas

Las siguientes abreviaturas son usadas en este manuscrito:

FAP: Proteína de Activación de Fibroblastos.

FAPI: Inhibidor de la Proteína de Activación de Fibroblastos.

MIR: Médico Interno Residente.

MN: Medicina Nuclear.

PET: Tomografía por Emisión de Positrones.

POE: Programa Oficial de la Especialidad.

SCT: Script Concordance Test.

SEMNUM: Sociedad Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular.

SNC: Sistema Nacional De Salud.

SPECT: Tomografía Computarizada por Emisión de Fotón Único.

Referencias Bibliográficas

1. Ministerio de Educación y Ciencia. *Real Decreto 480/1978, de 10 de Febrero, Por El Que Se Crea La Especialidad Médica de Medicina Nuclear.*; 1978. <https://www.boe.es/boe/dias/1978/03/18/pdfs/A06510-06510.pdf>
2. Ministerio de Educación y Ciencia. Resolución de 25 de Abril de 1996 de La Secretaría de Estado de Educación Por La Que Se Regula La Elaboración Del Proyecto Curricular de La Enseñanza Básica Obligatoria En Los Centros de Educación Especial.; 1996. [https://www.boe.es/eli/es/res/1996/04/25/\(6\)](https://www.boe.es/eli/es/res/1996/04/25/(6))
3. Jefatura del Estado. *Ley 44/2003.*; 2003. <https://www.boe.es/eli/es/l/2003/11/21/44/con>
4. Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática. *BOE-A-2022-12015.*; 2022. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/07/19/589>
5. Ministerio de sanidad. Proyecto de Orden Por La Que Se Aprueba y Publica El Programa Formativo de La Especialidad de Medicina Nuclear, Los Criterios de Evaluación de Los Especialistas En Formación y Los Requisitos de Acreditación de Las Unidades Docentes de Medicina Nuclear.; 2024. https://www.sanidad.gob.es/normativa/audiencia/docs/TEXTO_Y_MAIN_IP16.pdf
6. Ministerio de la Presidencia. *REAL DECRETO 183/2008, de 8 de Febrero.*; 2008. <https://www.boe.es/boe/dias/2008/02/21/pdfs/A10020-10035.pdf>
7. Carrió I, Gibbs W, Martin J, et al. *Best Practice in Nuclear Medicine 1.* 2nd ed. (Dennan S, Huggett S, eds.). European Association of Nuclear Medicine; 2006. doi:10.52717/WPAO3671
8. García Velloso MJ, Becerra García D, Peña C, et al. La SEMNUM tiene un plan y cuenta contigo. *Revista Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular.* 2023;42(1):1-2. doi:10.1016/j.remnm.2022.12.002
9. Real Academia Nacional de Medicina de España, Carreras-Delgado JL, Blanes-García AM, et al. Theranostics in Nuclear Medicine. *an ranm.* 2020;137(01):54-59. doi:10.32440/ar.2020.137.01.rev06

10. Prado-Wohlwend S, Bernal-Vergara JC, Utrera-Costero A, Cañón-Sánchez JR, Agudelo-Cifuentes M, Bello-Arques P. Peptide receptor radionuclide therapy with [177Lu]Lu-DOTA-TATE. *Revista Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular (English Edition)*. 2022;41(1):55-65. doi:10.1016/j.remnie.2021.11.001
11. Muros MA, Aroui T, Rivas-Navas D, Fernandez-Fernandez J. Integration of molecular imaging in the personalized approach to neuroendocrine tumors. *Q J Nucl Med Mol Imaging*. 2022;66(2). doi:10.23736/S1824-4785.22.03431-8
12. Giunta EF, Brighi N, Gurioli G, Matteucci F, Paganelli G, De Giorgi U. 177Lu-PSMA therapy in metastatic prostate cancer: An updated review of prognostic and predictive biomarkers. *Cancer Treatment Reviews*. 2024;125:102699. doi:10.1016/j.ctrv.2024.102699
13. Bidkar AP, Wang S, Bobba KN, et al. Treatment of Prostate Cancer with CD46-targeted 225Ac Alpha Particle Radioimmunotherapy. *Clinical Cancer Research*. 2023;29(10):1916-1928. doi:10.1158/1078-0432.CCR-22-3291
14. Albano D, Rizzo A, Slart RHJA, et al. The Role of Fibroblast Activation Protein Inhibitor Positron Emission Tomography in Inflammatory and Infectious Diseases: An Updated Systematic Review. *Pharmaceuticals*. 2024;17(6):716. doi:10.3390/ph17060716
15. Currie GM. Intelligent Imaging: Artificial Intelligence Augmented Nuclear Medicine. *J Nucl Med Technol*. 2019;47(3):217-222. doi:10.2967/jnmt.119.232462.



© 2024 por los autores; Esta obra está sujeta a la licencia de Reconocimiento 4.0 Internacional de Creative Commons. Para ver una copia de esta licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.