

**ANÁLISIS SOBRE EL CICLO REGULATORIO DE LOS MATERIALES RADIACTIVOS USADOS  
EN MEDICINA NUCLEAR EN COLOMBIA**

**TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
ADMINISTRADOR PÚBLICO**

**Presentado por:**

**EDWIN SÁNCHEZ BELTRÁN**

**Escuela Superior de Administración Pública  
Administración Pública Territorial (APT)  
2024**

**ANÁLISIS SOBRE EL CICLO REGULATORIO DE LOS MATERIALES RADIACTIVOS USADOS  
EN MEDICINA NUCLEAR EN COLOMBIA**

**TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
ADMINISTRADOR PÚBLICO**

**Presentado por:**

**EDWIN SÁNCHEZ BELTRÁN**

**Dirigido por:**

**EDGAR ANDRES AVELLA CASTILLA  
PhD**

**ESCUELA SUPERIOR DE ADMINISTRACIÓN PÚBLICA  
ADMINISTRACIÓN PÚBLICA TERRITORIAL (APT)  
2024**



## **Agradecimientos**

Con profundo amor al recuerdo de mi querida abuela Isabel, a mi valiosa familia, que han estado apoyándome en etapa de la vida, a mis compañeros y amigos que han sido parte de este proceso de luchas y aprendizajes, mi gratitud se extiende a nuestra alma mater y profesores por el conocimiento que adquirí durante el tiempo en la universidad.

## Índice

<b>RESUMEN</b> .....	<b>6</b>
ABSTRACT.....	6
PALABRAS CLAVE .....	6
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>7</b>
<b>PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>14</b>
• OBJETIVO GENERAL .....	15
• OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
FUNDAMENTOS DE LA MEDICINA NUCLEAR EN COLOMBIA.....	17
TECNOLOGÍAS Y APLICACIONES DE LA MEDICINA NUCLEAR EN EL PAÍS. ....	19
MARCO REGULATORIO Y EVALUACIÓN DEL MATERIAL RADIATIVO .....	22
<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>28</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>29</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>33</b>

## **RESUMEN**

La investigación monográfica del análisis sobre el ciclo regulatorio de los materiales radiactivos usados en medicina nuclear en Colombia, tuvo como objetivo central analizar e identificar el marco normativo y procesos responsables de la regulación, garantizando la seguridad y protección radiológica a la sociedad en general y al medio ambiente, articulándose de manera objetiva en relación con los principios y enfoques de la teoría de la Administración Pública en varios aspectos que se articulan con los desafíos y oportunidades.

## **ABSTRACT**

The monographic investigation of the analysis of the regulatory cycle of radioactive materials used in nuclear medicine in Colombia, had as its central objective to analyze and identify the regulatory framework and processes responsible for regulation, guaranteeing radiological safety and protection to society in general and to the environment, articulating objectively in relation to the principles and approaches of the theory of Public Administration in various aspects that are articulated with the challenges and opportunities.

## **Palabras Clave**

Medicina Nuclear, Isotopos, Radiación, Radiofármacos, Ley Nuclear, Regulación, Administración, INES, OIEA, Protección Radiológica, Oncología, Cáncer.

## INTRODUCCIÓN

La Medicina Nuclear es una especialidad médica que utiliza isótopos radiactivos y radiación para realizar diagnósticos y terapias, especialmente en el tratamiento de enfermedades oncológicas y la evaluación y el diagnóstico de diversas afecciones. Esta disciplina fusiona la medicina, la física nuclear y los avances tecnológicos para obtener información detallada sobre el estado y funcionamiento de los tejidos y órganos internos, lo que permite administrar tratamientos más precisos.

La historia de la Medicina Nuclear está estrechamente ligada al descubrimiento de la radioactividad. Este fenómeno ocurre cuando un núcleo atómico inestable emite energía en forma de radiación, transformándose en un núcleo más estable.

Los hitos clave en la historia de la Medicina Nuclear fueron marcados por destacados científicos de la época. En 1895, el alemán Wilhelm Conrad Roentgen descubrió los rayos X y produjo la primera radiografía de la historia (Glasser, 1993). Un año después, en 1896, el físico francés Henri Becquerel descubrió la radiactividad de forma accidental, lo que llevó al reconocimiento de los rayos X (Becquerel, 1896). En 1898, Marie y Pierre Curie descubrieron los elementos radiactivos Polonio (Po) y Radio (Ra), lo que les valió el premio Nobel de Química y Física (Curie & Curie, 1898; Nobel Media, 2024). Además, Ernest Rutherford dedicó su vida al estudio de las partículas radiactivas, clasificándolas en alfa, beta y gamma, y descubrió

que la radiactividad estaba asociada a la desintegración de elementos, lo que le otorgó el premio Nobel en 1908 (Rutherford, 1908).

Estos destacados científicos del siglo XX fueron honrados con el Premio Nobel en Química y Física, cuyos descubrimientos sentaron los cimientos para el estudio y la aplicación de la radiactividad en campos tan diversos como la medicina. Sus contribuciones fueron fundamentales para el desarrollo de técnicas como la radiografía, tomografía, mamografía, fluoroscopia, radioterapia y medicina nuclear, revolucionando así la práctica médica y mejorando el diagnóstico y tratamiento de diversas enfermedades (Cherry, Sorenson, & Phelps, 2012).

Desde su descubrimiento en el siglo XIX, los materiales radiactivos han sido utilizados en una amplia gama de campos y aplicaciones. Esto incluye la generación de energía en reactores nucleares, así como su uso en la Medicina Nuclear, donde desempeñan un papel crucial en diagnóstico y tratamiento médicos avanzados (World Nuclear Association, 2023).

El uso del material radiactivo para la generación de energía eléctrica se remonta a la mitad del siglo XX. Este proceso se basa en la fisión nuclear, donde los núcleos de átomos como el Uranio se dividen, liberando energía en forma de calor. Este calor se aprovecha para producir vapor, el cual impulsa turbinas que, a su vez, generan electricidad de manera eficiente y sostenible (International Atomic Energy Agency, 2023).

En la industria, el material radiactivo se emplea en diversas formas y aplicaciones. Estas van desde la desinfección de alimentos hasta la detección, ensayo y medición de materiales, así



como el inicio de reacciones químicas beneficiosas y la fabricación de armamento nuclear (World Nuclear Association, 2023). La radiación se utiliza como herramienta de control para detectar posibles fugas en tuberías de gas, agua y electricidad, así como para medir el espesor de láminas y en ensayos no destructivos para evaluar la calidad e inspeccionar materiales y estructuras (International Atomic Energy Agency, 2020).

En el ámbito médico, el uso controlado y preciso de la radiación ionizante es fundamental para el diagnóstico, tratamiento e investigación. Esto ha llevado a importantes avances en el descubrimiento temprano de enfermedades, el seguimiento de tratamientos y la investigación médica continua (Cherry, Sorenson, & Phelps, 2012).

A lo largo de la historia, se han registrado varios incidentes y accidentes relacionados con la operación de reactores nucleares, con consecuencias devastadoras tanto para la vida humana como para el medio ambiente, afectando la flora y la fauna. Estos eventos se encuentran entre los peores accidentes nucleares conocidos (World Health Organization, 2016).

Uno de los primeros accidentes nucleares de la historia ocurrió en diciembre de 1952 en la central de Chalk River en Canadá, como resultado de errores humanos y decisiones equivocadas (Hurst, 1997). Otro incidente notable tuvo lugar en la central de Windscale, Gran Bretaña, en 1957, donde se producía plutonio en secreto para investigar su posible uso en submarinos nucleares. Este accidente, calificado con un nivel 5 en la escala INES, fue causado por un incendio en uno de los reactores, resultando en una significativa fuga de material radiactivo (Arnold, 1992).

La Escala Internacional de Eventos Nucleares (INES) es una herramienta utilizada a nivel internacional para comunicar la gravedad de eventos nucleares y radiológicos al público y a las autoridades. Tiene siete niveles, desde 0 hasta 7, donde los eventos de nivel 7 son los más graves. Esta escala se basa en criterios como la liberación de material radiactivo, el impacto en la salud humana y el medio ambiente, y la necesidad de acción de protección radiológica. La calificación en la escala INES ayuda a comprender la magnitud y las implicaciones de los eventos nucleares (International Atomic Energy Agency, 2022).

Hasta la fecha, dos grandes accidentes nucleares están clasificados en el nivel 7 de la escala INES. El primero ocurrió en Chernóbil en 1986, debido a la explosión del reactor RBMK (Reactor de condensador de alta potencia) N° 4 de la Central Térmica Nuclear Memorial Vladimir Ilich Lenin (International Atomic Energy Agency, 2006). El otro accidente trágico tuvo lugar en Fukushima, Japón, en 2011, después de un terremoto y un posterior tsunami. La central nuclear de Fukushima experimentó una serie de explosiones y fusiones nucleares que resultaron en la liberación de radiación al medio ambiente y la descarga de agua contaminada en el océano (World Nuclear Association, 2023).

Estos incidentes han suscitado debates sobre la seguridad y la viabilidad de la energía nuclear, especialmente en el contexto de los desafíos climáticos actuales y la creciente necesidad de fuentes de energía limpias a nivel mundial (Greenpeace, 2011).

Las medidas de seguridad y protección radiológica implementadas en centrales e instalaciones nucleares están respaldadas por estrictos protocolos de seguridad. Estas medidas

incluyen desde el diseño de zonas clasificadas según el nivel de riesgo radiológico, hasta la implementación de sistemas de ventilación y barreras de control y blindaje (International Atomic Energy Agency, 2020). Además, se emplean sistemas para la gestión y descomposición del material radiactivo, junto con una vigilancia constante de la radiación en el aire. Los protocolos también abarcan aspectos como el transporte de material radiactivo, especialmente los desechos y el combustible nuclear gastado, con énfasis en el embalaje seguro y una estructura robusta para garantizar el transporte a nivel nacional e internacional (World Nuclear Transport Institute, 2018).

Estas medidas se complementan con los esfuerzos de los organismos reguladores de cada país, que supervisan y regulan las actividades nucleares para garantizar la seguridad y protección, priorizando la protección de los trabajadores expuestos ocupacionalmente y del público en general (Nuclear Regulatory Commission, 2022).

Todo este esfuerzo se lleva a cabo con el apoyo y la colaboración del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), cuya misión principal es fomentar la cooperación científica, técnica y regulatoria para promover el uso seguro y responsable de la energía nuclear en beneficio de la paz mundial, la salud y el progreso (International Atomic Energy Agency, 2023).

El objetivo central de esta monografía es investigar y comprender el ciclo regulatorio del material radiactivo, que abarca su uso, manipulación, transporte y disposición, específicamente en el contexto de la Medicina Nuclear en Colombia. Se busca analizar y describir la regulación vigente, asegurando prácticas seguras y éticas en el país. Además, se identificarán los

organismos regulatorios y de apoyo que contribuyen a promover una gestión efectiva y segura, garantizando la protección de la salud y el medio ambiente.

En Colombia, ha habido un crecimiento significativo en el campo de la Medicina Nuclear. Aunque no se puede medir este aumento en términos de porcentajes debido a la escasez de elementos radiactivos como el Tecnecio 99 ( $^{99}\text{Tc}$ ) y el Molibdeno 99 ( $^{99}\text{Mo}$ ), es importante destacar que la disponibilidad de estos productos ha disminuido. Sin embargo, este déficit se ha compensado en gran medida gracias al uso de radiofármacos importados desde países como Argentina, Rumania, Grecia y Luxemburgo, entre otros países europeos, que han permitido diagnósticos y terapias personalizadas de alta calidad.

Estos radiofármacos son fundamentales para detectar enfermedades oncológicas en etapas tempranas, lo que facilita el tratamiento y brinda esperanza a los pacientes. Además, permiten proporcionar tratamientos que pueden ayudar a controlar el progreso de la enfermedad o incluso lograr la remisión, lo que aporta un alivio significativo a los pacientes y sus familiares.

La mayoría de estos radiofármacos son importados y requieren una documentación específica que cumpla con los requisitos de los entes reguladores, así como tiempos de respuesta adecuados. Sin embargo, surgen desafíos, como la escasez nacional de radiofármacos debido a problemas de producción en los países proveedores o dificultades de distribución, como las ocurridas durante la pandemia o durante conflictos internacionales. Además, el proceso de importación de material radiactivo implica trámites burocráticos, especialmente en el ámbito regulatorio, lo que puede generar demoras y obstáculos en la disponibilidad oportuna de estos

insumos. Este proceso incluye la obtención de autorizaciones y licencias para importación, distribución, disposición final y reexportación del material radiactivo ingresado al país.

El presente estudio promueve una investigación analítica en el ámbito científico-administrativo, centrándose en el fortalecimiento e intervención de las instituciones de la administración pública, alineado con la nueva teoría de la administración pública que enfatiza la gobernanza, la eficiencia y la transparencia (García-Sánchez & Rodríguez-Bolívar, 2012). Estas entidades juegan un papel crucial en el procedimiento regulatorio y normativo del material radiactivo utilizado en la Medicina Nuclear en Colombia, así como en el control preciso de los radioisótopos empleados para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades oncológicas (Gobierno de Colombia, 2015).

Siguiendo los principios de la nueva teoría, estas instituciones son fundamentales ya que establecen normativas que regulan la práctica, garantizando el cumplimiento de estándares de calidad y seguridad en la aplicación de estas tecnologías en la prestación de servicios médicos (Barzelay, 2001). Además, supervisan y controlan la producción, distribución y uso de radiofármacos, asegurando una manipulación adecuada y la correcta aplicación de los procedimientos médicos (Organización Mundial de la Salud, 2017). También, estas entidades vigilan la gestión adecuada de los desechos radiactivos, promoviendo prácticas ambientales responsables en el uso de estos materiales, lo cual refleja un enfoque holístico de la gobernanza pública.

Un aspecto relevante, conforme a la nueva teoría de la administración pública, es la facilitación de la articulación entre los diferentes entes implicados en el ámbito de la medicina nuclear (Kooiman, 1993). Esto asegura el cumplimiento, la calidad y la responsabilidad en

beneficio de los pacientes y la sociedad en general. La colaboración entre estas entidades, basada en la transparencia y la rendición de cuentas, contribuye a garantizar la seguridad y eficacia de los tratamientos médicos, así como a proteger el medio ambiente y la salud pública (Jann & Wegrich, 2007). Este enfoque integrado y colaborativo es esencial para la modernización y efectividad de la administración pública en el contexto de la medicina nuclear.

### **Problema de Investigación**

En el campo de la Medicina Nuclear, se enfrentan desafíos y problemas en el suministro y elaboración de radiofármacos, elementos esenciales para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades oncológicas, neurológicas, coronarias, entre otras. Actualmente, el suministro de estos medicamentos es irregular, principalmente debido a trabas en trámites administrativos, regulatorios, costos y otros procedimientos burocráticos. Esta irregularidad afecta la prestación del servicio y plantea la preocupación sobre la insuficiencia de abastecimiento para hacer frente a la creciente demanda en los servicios médicos.

El objetivo de esta investigación es llevar a cabo un análisis exhaustivo para evaluar la regulación del material radiactivo en los servicios de medicina nuclear en Colombia.

Surge la interrogante sobre por qué Colombia no produce algún tipo de material radiactivo para uso en medicina nuclear. Además, existe una carencia de información objetiva sobre el impacto de la ausencia de producción nacional de radionúclidos con fines médicos y si es factible establecer una producción nacional.

En este contexto, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué papel desempeña el Estado en cuanto a la regulación, el equipamiento médico y la normativa actualizada para garantizar un suministro adecuado y seguro de radiofármacos en medicina nuclear?

## **OBJETIVOS**

- Objetivo General

Analizar el ciclo regulatorio sobre el uso y control de material radiactivo usado en las prácticas médicas nucleares en Colombia.

- Objetivos Específicos

Identificar el marco normativo, los procesos y las Instituciones responsables de la regulación y control.

- Analizar la eficacia de las regulaciones y políticas de la administración pública en la gestión ambiental y la seguridad en el uso de materiales radiactivos en medicina nuclear, con el fin de poder identificar áreas de mejoramiento y asimismo recomendaciones para el desarrollo efectivo y sostenible desde el nivel gubernamental.
- Evaluar el ciclo de regulatorio del material radiactivo usado en las prácticas médicas nucleares, velando principalmente por la seguridad y bienestar de los pacientes, enfáticamente en la más mínima exposición de radiación y de la misma manera la gestión final de residuos radiactivos, para garantizar protección y seguridad al paciente y población cercana.

## **Marco Teórico**

Para respaldar la investigación sobre el ciclo regulatorio del material radiactivo en la medicina nuclear, se propone abordar de manera estructurada los fundamentos de la medicina nuclear, incluyendo su historia, desarrollo y conceptos básicos, para comprender la aplicación e impacto del material radiactivo, considerando el riesgo asociado tanto para los pacientes como para los profesionales de la salud y el entorno. Además, se examinarán las tecnologías y aplicaciones más relevantes en diagnóstico y tratamiento, así como las innovaciones tecnológicas recientes, evaluando cómo el ciclo regulatorio influye en la gestión del riesgo y en el derecho a la salud de la población. Se analizará el marco regulatorio en Colombia que rige el uso, manejo, transporte y disposición del material radiactivo, destacando leyes, normativas y procedimientos que buscan garantizar la seguridad y calidad en todas las etapas del ciclo del material radiactivo, con el fin de proteger el derecho a la salud de los ciudadanos. Finalmente, se identificarán los desafíos y oportunidades actuales en la regulación y gestión del material radiactivo en Colombia, con el objetivo de mejorar la eficiencia, seguridad y eficacia en el uso de la medicina nuclear, en consonancia con el derecho a la salud y minimizando los riesgos asociados. Este enfoque facilitará un análisis integral de la gestión, aplicación y seguridad del material radiactivo en la medicina nuclear en Colombia, proporcionando una base sólida para la investigación y el desarrollo continuo en este campo.



## **Fundamentos de la Medicina Nuclear en Colombia**

El desarrollo histórico de la medicina nuclear en Colombia se remonta a 1934 con la creación del Instituto Nacional de Radium, inicialmente bajo la dependencia directa de la Universidad Nacional (Ministerio de Salud y Protección Social, 2015). Sin embargo, fue en 1951 cuando se estableció el Instituto Nacional de Cancerología (INC) como una entidad del Estado colombiano de orden nacional, encargada de las funciones derivadas de la aplicación de la energía nuclear en la medicina, gracias en gran medida al científico Jaime Cortázar (Instituto Nacional de Cancerología [INC], 2020). Cortázar desempeñó un papel crucial en la consolidación de esta especialidad en Colombia, marcando un hito importante en 1955 al administrar yodo radiactivo (I-131) a una paciente para estudiar la función de la tiroides (Gómez, 2017).

El primer detector de centelleo se utilizó en el Instituto Nacional de Cancerología en 1956, seguido por el primer gama grafo lineal en 1961 (Martínez et al., 2016). Durante la década de 1960, se llevaron a cabo varios proyectos con el objetivo de establecer servicios de medicina nuclear en ciudades como Cali y Medellín (Rodríguez, 2020). En Bogotá, se inauguró el primer Reactor Nuclear de Investigación denominado IAN-R1, el cual ha sido utilizado en proyectos de investigación científica en diversos sectores como la agricultura, la industria, la salud y la geología (Parra, 2016).

En 1973, se estableció el servicio de medicina nuclear en el Hospital Militar de Bogotá, lo que estimuló la creación de otros servicios similares en distintas regiones del país (Gómez, 2017). Este hito marcó un paso significativo en la expansión y democratización del acceso a la medicina nuclear en Colombia (Ministerio de Salud y Protección Social, 2015).

Durante la década de 1980, se estableció el marco del Plan Nacional de Cáncer con el objetivo de abordar de manera integral la problemática del cáncer en Colombia. Este plan tenía como metas la reducción de las muertes derivadas de esta enfermedad, la mejora de la calidad de vida de los pacientes y la dotación de equipos en diversos centros médicos en varias ciudades del país (Ministerio de Salud y Protección Social, 2015). Además, se crearon programas académicos que formaron a numerosos especialistas en el área (Gómez et al., 2019).

Las instituciones nacionales involucradas en la implementación del Plan Nacional de Cáncer incluyen al Ministerio de Protección Social, que desempeña un papel importante en la formulación, implementación y supervisión de políticas públicas y programas relacionados con el cáncer (Ministerio de Salud y Protección Social, 2015). El Instituto Nacional de Cancerología se encarga de asesorar científicamente en el desarrollo de estrategias y acciones de control, aportando sus conocimientos especializados en oncología (Instituto Nacional de Cancerología, 2020). Las entidades territoriales participan a nivel regional y local en la implementación del plan, adoptando estrategias específicas para cada región (Rodríguez, 2018).

En 1981, en la ciudad de Cali, se inauguró el servicio de medicina nuclear en la Fundación Valle del Lili, una entidad privada sin ánimo de lucro. Esta apertura garantizó una disposición minuciosa y un estado óptimo para cada estudio, respaldando resultados íntegros y una excelente atención y calidad (Fundación Valle del Lili, 2021).

Todo este esfuerzo ha contribuido significativamente a la evolución de la medicina nuclear en Colombia. La implementación de tecnologías avanzadas, la formación de especialistas, el desarrollo y expansión de servicios en todo el país, y la colaboración entre entidades nacionales y el apoyo de organizaciones internacionales han permitido el uso de radiofármacos para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades como el cáncer, enfermedades cardíacas, neurológicas, endocrinas, entre otras, promoviendo así el desarrollo científico y el cuidado de los pacientes (Martínez et al., 2017).

### **Tecnologías y aplicaciones de la medicina nuclear en el país.**

La Medicina Nuclear ha experimentado avances significativos en Colombia en los últimos años, tanto en la oferta de servicios como en la implementación de tecnologías y aplicaciones que desempeñan un papel fundamental en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades, especialmente las oncológicas. Estos avances se han logrado gracias a la adquisición de equipos capaces de detectar anomalías a nivel molecular, lo que ha mejorado notablemente la calidad de los servicios médicos.

En la práctica clínica de la Medicina Nuclear, se emplean pequeñas cantidades de sustancias radiactivas denominadas radiofármacos. Estos radiofármacos emiten radiación que

puede ser detectada por equipos altamente sofisticados y seguros, como los Tomógrafos, las Gammacámaras óseas, los PET-CT (Tomografía por Emisión de Positrones - Tomografía Computarizada), los equipos de Tomografía, Rayos X, Resonancia Magnética y Ultrasonido. Estos dispositivos proporcionan análisis precisos y detallados, permitiendo una mejor localización y caracterización de lesiones, lo que maximiza la precisión diagnóstica y minimiza la exposición a la radiación, además de facilitar tratamientos personalizados y efectivos, un seguimiento detallado de la evolución de las enfermedades y una reducción de procedimientos invasivos.

En Colombia, diversas especialidades médicas y clínicas se benefician de la Medicina Nuclear, incluyendo Endocrinología, Oncología, Ortopedia y Traumatología, Nefrología y Urología, Cirugía Plástica, Pediatría y Cirugía Pediátrica, Cardiología, Neurología y Fisiatría, entre otras.

Los radiofármacos aprobados se administran por vía oral, intravenosa, por inhalación o inyección directa en el órgano, dependiendo del proceso y tratamiento de la enfermedad. Los médicos nucleares seleccionan el material adecuado para proporcionar información específica y confiable para el tratamiento particular de cada paciente.

Los materiales radiactivos más utilizados en Medicina Nuclear provienen de fuentes abiertas, lo que significa que la información relacionada con su producción, control de calidad y normativa está disponible al público en general. Estos materiales se emplean en la elaboración de radiofármacos, seleccionando aquellos con características como nivel de toxicidad, emisión

radiactiva y periodo de desintegración corto, buscando minimizar la dosis absorbida y garantizar una eliminación rápida.

**Figura 1**

Datos del material usado en Medicina Nuclear

Diagnóstico		Terapias	
Yodo 131	(I-131)	(777Lu)	Lutecio 177
Tecnecio 99m	(99mTc)	(I-131)	Yodo 131
Galio-68	(68Ga)	(223-Ra)	Radio-223
Flúor 18	(18F)	(Ac-225)	Actinio 225

*Elaboración Propia basado en Datos de Instituto Nacional de Cancerología.*

Es esencial contar con un sistema de gestión de vertidos que incluya una infraestructura adecuada y procesos especializados para la eliminación segura de residuos líquidos en instalaciones de medicina nuclear. Este sistema debe estar equipado con tanques de decaimiento, inodoros exclusivos y específicos, así como un software de control dedicado que facilite la gestión adecuada de los residuos.

En términos generales, el sistema de gestión de vertidos proporciona una solución efectiva y competente para los desechos líquidos generados por los procedimientos médicos, lo que contribuye significativamente a la seguridad y la sostenibilidad en el uso de estos materiales. Además de cumplir con las regulaciones ambientales y de seguridad, garantiza que los residuos

se manejen de manera responsable y se minimice cualquier impacto negativo en el medio ambiente y la salud pública.

### **Marco Regulatorio Y Evaluación del Material Radiactivo**

El marco regulatorio y la evaluación del material radiactivo utilizado en Medicina Nuclear en Colombia son fundamentales para garantizar la seguridad y protección radiológica tanto de los pacientes como del personal médico y el público en general. Este marco se basa en una serie de normativas y resoluciones que regulan diversos aspectos relacionados con el uso, manejo, transporte y disposición de materiales radiactivos.

La política nacional en este ámbito se establece a través del Reglamento de Protección Radiológica y Seguridad Nuclear en su Resolución No 18 1434 de 2002 adoptada por el Ministerio de Minas y Energía, el cual se ajusta a las directrices y recomendaciones del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Este reglamento abarca procedimientos y requisitos normativos para la protección y seguridad radiológica, la expedición de autorizaciones para el uso seguro de fuentes radiactivas, licencias para importación, distribución y transporte de material radiactivo, así como la gestión de desechos radiactivos.

Las entidades encargadas de supervisar y regular la aplicación de estas normativas son principalmente el Ministerio de Minas y Energía, el Servicio Geológico Colombiano, los Ministerios de Salud y Protección Social, Medio Ambiente, TIC y Transporte. Estas entidades

establecen requisitos y condiciones mínimas para la gestión segura de materiales nucleares y radiactivos, así como para la obtención de diferentes tipos de autorizaciones.

El marco regulatorio y la evaluación del material radiactivo en Medicina Nuclear en Colombia están respaldados por una estructura normativa sólida que garantiza la seguridad y protección en todas las etapas, desde la importación hasta la disposición final de los desechos radiactivos, estos son procedimientos son esenciales para garantizar su uso seguro y proteger la salud pública y el medio ambiente.

**Cuadro 1** Normativa para los servicios de Medicina Nuclear

Número	Normativa	Descripción	Año
1	Reglamento de Protección Radiológica y Seguridad Nuclear	Marco regulador fundamental para el uso seguro de materiales radiactivos y nucleares en el país. Establece los principios y requisitos para la protección radiológica, la seguridad nuclear y la gestión de desechos radiactivos.	2002
2	Resolución 181434 de 2002	Reglamenta la protección y seguridad radiológica, estableciendo normas específicas para el uso seguro de materiales radiactivos en Medicina Nuclear.	2002
3	Resolución 181419 de 2004	Establece los requisitos y procedimientos para la expedición de la licencia de importación de material radiactivo, garantizando que su ingreso al país cumpla con los estándares de seguridad y protección radiológica.	2004
4	Resolución 181289 de 2004	Define los requisitos para la obtención de licencias para la prestación del servicio de dosimetría personal, asegurando una adecuada monitorización de la exposición a la radiación del personal médico y técnico.	2004
5	Resolución 180052 de 2008	Adopta el sistema de categorización de las instalaciones radiactivas, clasificándolas según el riesgo potencial que representan para la salud humana y el medio ambiente.	2008

6	Resolución 180005 de 2010	Reglamenta la gestión de los desechos radiactivos en el territorio colombiano, estableciendo los requisitos para su almacenamiento, transporte y disposición final.	2010
7	Resolución 90874 de 2014	Establece los requisitos y condiciones mínimas para la obtención de diferentes tipos de autorización relacionados con la gestión de materiales radiactivos en Medicina Nuclear.	2014
8	Resolución 4245 de 2015	Define los requisitos para obtener la certificación en buenas prácticas de elaboración de radiofármacos, garantizando la calidad y seguridad de estos productos.	2015
9	Resolución 41226 de 2016	Establece los requisitos y procedimientos para la expedición de autorizaciones para el empleo de fuentes radiactivas y la inspección de las instalaciones radiactivas.	2016
10	Resolución 41178 de 2016	Modifica la Resolución 180005 de 2010, actualizando los requisitos para la gestión de desechos radiactivos.	2016
11	Resolución 482 de 2018	Reglamenta el uso de equipos generadores de radiación ionizante, su control de calidad y la prestación de servicios de protección radiológica.	2018
12	Resolución 3100 de 2019	Define los procedimientos y condiciones de inscripción de los prestadores de servicios de salud y de habilitación de los servicios de salud.	2019
13	Resolución 560 del 1 de abril de 2024	Establece los requisitos para obtener la certificación en Buenas Prácticas de Elaboración de Radiofármacos y se adopta el instrumento para su verificación.	2024

**Nota:** De Biomed. vol.41 no.4 Bogotá Oct./Dec. 2021 Epub Dec 15, 2021

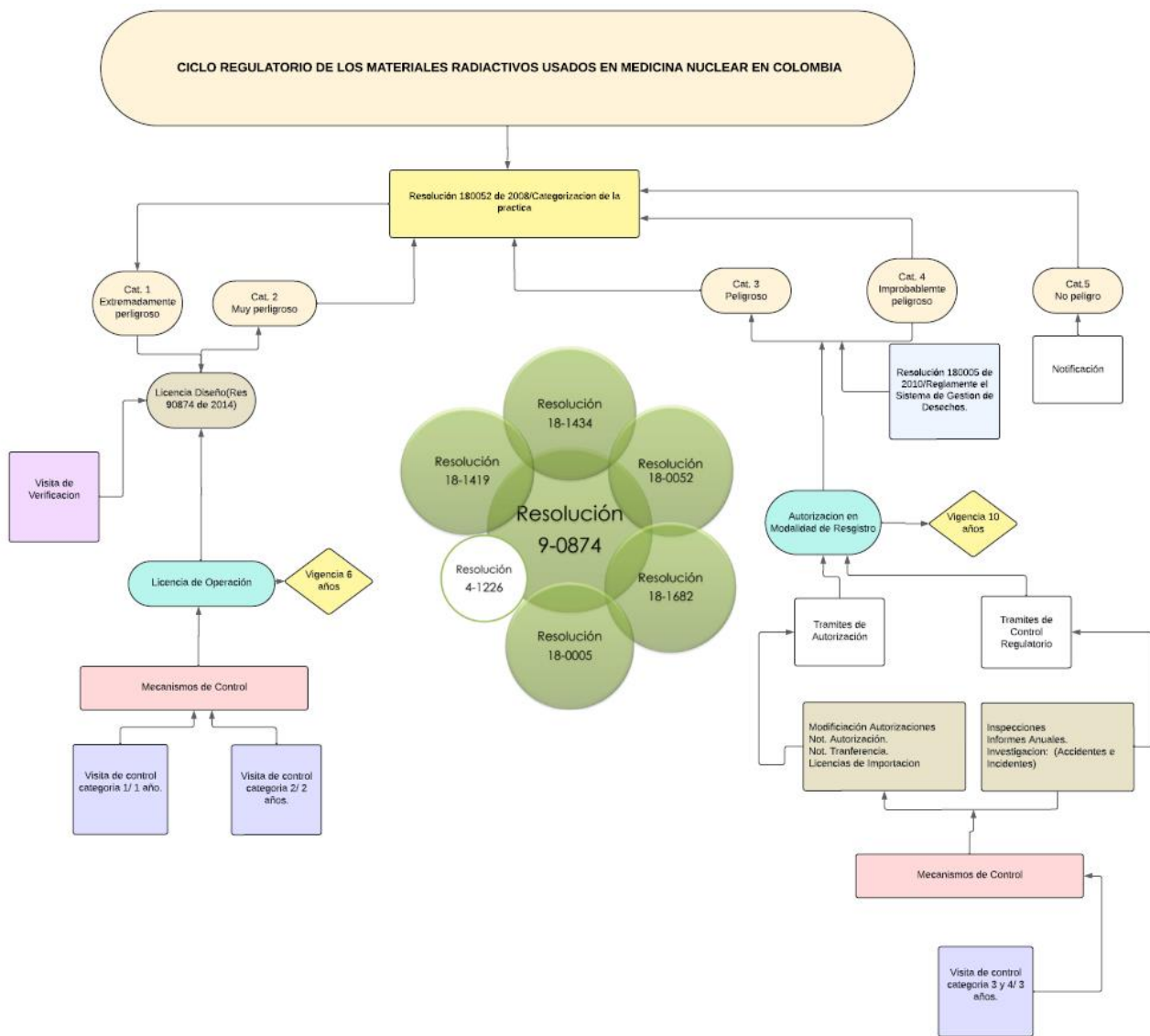
El ciclo regulatorio de materiales radiactivos en medicina nuclear en Colombia se erige como un marco integral que abarca diversas etapas y componentes (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2018). Esta estructura tiene como objetivo garantizar la protección de la salud pública y el medio ambiente frente a los riesgos asociados al uso de materiales radiactivos.



1. **Autorización:** Se establecen requisitos estrictos para el empleo de fuentes radiactivas, asegurando que los centros médicos cumplan con las normas de seguridad y protección radiológica (Comisión Colombiana de Energía Nuclear, CCEN, 2015). Estos requisitos incluyen la obtención de licencias, la implementación de programas de seguridad radiológica y la capacitación del personal (Comisión Colombiana de Energía Nuclear, CCEN, 2017).
2. **Inspecciones:** Se realizan inspecciones periódicas para verificar el cumplimiento de las normativas y el manejo adecuado de los materiales radiactivos (Comisión Colombiana de Energía Nuclear, CCEN, 2018). Estas inspecciones evalúan el cumplimiento de los requisitos de licencia, los programas de seguridad radiológica y las prácticas de manejo de materiales radiactivos (Comisión Colombiana de Energía Nuclear, CCEN, 2019).
3. **Gestión de Desechos Radiactivos:** Se implementan normas específicas para la adecuada disposición de estos desechos, desde su generación hasta su eliminación final, minimizando riesgos para la salud y el medio ambiente (Comisión Colombiana de Energía Nuclear, CCEN, 2016). Estas normas establecen procedimientos para la clasificación, almacenamiento, transporte y eliminación de desechos radiactivos (Comisión Colombiana de Energía Nuclear, CCEN, 2017).
4. **Transporte de Materiales Radiactivos:** Se regulan los procedimientos de transporte para garantizar la seguridad durante el traslado de estos materiales (Comisión Colombiana de Energía Nuclear, CCEN, 2015). Estas regulaciones incluyen requisitos para el empaquetado, etiquetado y señalización de materiales radiactivos,

así como para la capacitación del personal de transporte (Comisión Colombiana de Energía Nuclear, CCEN, 2017).

5. **Planificación y Preparación:** Se desarrollan protocolos y medidas de seguridad para prevenir y responder a posibles emergencias radiológicas, asegurando una respuesta efectiva en caso de incidentes (Comisión Colombiana de Energía Nuclear, CCEN, 2016). Estos protocolos incluyen planes de emergencia, procedimientos de respuesta y capacitación del personal (Comisión Colombiana de Energía Nuclear, CCEN, 2018).
6. **Regulación de Servicios en Medicina Nuclear:** Se supervisa la calidad y seguridad de los procedimientos médicos que involucran materiales radiactivos, estableciendo requisitos y estándares para la prestación de servicios de diagnóstico y tratamiento, protegiendo tanto a pacientes como al personal médico (Comisión Colombiana de Energía Nuclear, CCEN, 2015). Esta supervisión incluye la evaluación de las instalaciones, los equipos y el personal médico, así como la revisión de los protocolos de procedimientos (Comisión Colombiana de Energía Nuclear, CCEN, 2017).
7. **Monitoreo y Seguimiento:** Se realiza un monitoreo y seguimiento continuo para evaluar la efectividad del ciclo regulatorio, identificando áreas de mejora y realizando ajustes según sea necesario (Comisión Colombiana de Energía Nuclear, CCEN, 2018). Este monitoreo incluye la recopilación de datos sobre el cumplimiento de las normativas, la evaluación de los resultados de las inspecciones y la realización de encuestas a los centros médicos y al personal (Comisión Colombiana de Energía Nuclear, CCEN, 2019).



*Elaboración Propia basado en Datos del Ciclo Regulatorio de los Materiales Usado en Medicina Nuclear en Colombia.*

El ciclo regulatorio de materiales radiactivos en medicina nuclear en Colombia es un marco esencial para garantizar la seguridad y protección radiológica en el uso de estas sustancias. Su éxito depende del cumplimiento de las actividades establecidas, el monitoreo continuo y la gestión adecuada de los riesgos (Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA, 2018).

## **Metodología**

La metodología empleada en esta monografía es de carácter cualitativo, donde se caracterizó por su enfoque analítico y descriptivo. En primer lugar, se procedió a la identificación precisa de la información relevante, seguida de la recolección de datos e información detallada sobre la normativa regulatoria de los materiales radiactivos utilizados en medicina nuclear. Además, se llevó a cabo la recopilación de información científica relacionada con los tipos de materiales radioactivos recomendados para cada especialidad médica específica.

El propósito principal de esta metodología fue promover el desarrollo de conocimiento que pudiera ser aplicado de manera adecuada en el campo de la medicina nuclear. Para lograrlo, se enfocó en obtener datos precisos y actualizados sobre las regulaciones vigentes y las recomendaciones científicas más relevantes en cuanto al uso de materiales radiactivos en diversas áreas médicas.

El análisis detallado de esta información permitió una comprensión más profunda de los desafíos y oportunidades asociados con la regulación y el uso de materiales radiactivos en medicina nuclear, lo que a su vez facilitó la formulación de conclusiones y recomendaciones fundamentadas en evidencia sólida y actualizada.

## **Conclusiones y Recomendaciones**

La medicina nuclear ha sido una herramienta crucial para el diagnóstico y tratamiento de diversas enfermedades, ofreciendo alternativas precisas y efectivas tanto para médicos como para pacientes. Sin embargo, el uso de material radiactivo en este campo plantea desafíos regulatorios significativos en Colombia que requieren una atención integral para garantizar la seguridad, la ética y el respeto por el medio ambiente. Es esencial promover las mejores prácticas en el uso de estos materiales radiactivos.

En esta investigación, se exploraron los principales desafíos y oportunidades en el ciclo regulatorio del material utilizado en medicina nuclear en Colombia. Algunos de estos retos clave incluyen asegurar un manejo seguro y responsable del material radiactivo, establecer controles éticos en su uso y disminuir su impacto ambiental.

Además, existen oportunidades para fortalecer la regulación y promover un enfoque más ético, seguro y sostenible en el campo nuclear. Estas oportunidades incluyen el desarrollo de normativas más robustas y actualizadas, que permitan crear una ley nuclear que proteja la salud, el medio ambiente y fomente el desarrollo sostenible y la transición energética. Esto beneficiaría directamente la producción de radiofármacos en el país, lo que sería crucial para combatir el cáncer y prevenir el desabastecimiento de estos materiales radiactivos esenciales para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades oncológicas. La creación de aceleradores de partículas, como los ciclotrones, que se dedican a la producción de radiofármacos PET, también

es fundamental. Además, es necesario mejorar la capacitación y monitoreo del personal y fomentar la investigación y la innovación en aplicaciones más seguras.

El ciclo regulatorio de los materiales utilizados en medicina nuclear en Colombia se relaciona con los principios y enfoques de la teoría de la Administración Pública en varios aspectos que se articulan con los desafíos y oportunidades.

En términos de gobernanza y regulación, la colaboración entre entidades gubernamentales y autoridades regulatorias es crucial para garantizar un uso seguro y adecuado de los materiales radiactivos. Esto implica una regulación sólida y eficiente por parte de entidades como el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Salud y Protección Social y el Organismo Internacional de Energía Atómica.

La orientación al servicio al cliente enfatiza la importancia de satisfacer las necesidades y expectativas de los usuarios y las partes interesadas, garantizando un tratamiento seguro y eficaz para los pacientes, así como la protección del público y el medio ambiente contra los riesgos asociados con el material radiactivo.

Una gestión por resultados debería implicar la medición continua del desempeño y los resultados obtenidos, monitoreando la seguridad y la eficacia del uso del material radiactivo, así como la efectividad de las regulaciones implementadas.

La transparencia y la rendición de cuentas serán fundamentales para garantizar que las regulaciones y políticas relacionadas con el uso del material radiactivo sean claras, accesibles y

aplicadas consistentemente, asegurando la responsabilidad de las autoridades regulatorias ante el público y las partes interesadas.

En conclusión, la regulación de los materiales radiactivos utilizados en medicina nuclear en Colombia se basa en los principios de la Nueva Administración Pública, promoviendo una gobernanza efectiva, una orientación al servicio al cliente, una gestión por resultados y una transparencia y rendición de cuentas. Esto se traduce en una regulación sólida y colaborativa que busca garantizar la seguridad y eficacia en el uso de estos materiales, protegiendo a pacientes, personal médico y al público en general, en línea con las necesidades y expectativas de la sociedad.

El respaldo de la regulación del uso de material radiactivo en medicina nuclear en Colombia se sustenta en una serie de normativas nacionales que abordan diversos aspectos cruciales relacionados con la protección y seguridad radiológicas. Estas disposiciones legales son fundamentales para garantizar la integridad tanto de los pacientes como del personal médico involucrado en estos procedimientos, así como también para salvaguardar el entorno ambiental de los posibles efectos adversos de la radiación.

La normativa nacional respalda el control del material radiactivo en medicina nuclear en Colombia, abordando aspectos críticos de protección y seguridad radiológicas. Estas leyes son esenciales para garantizar la integridad de pacientes, personal médico y el entorno frente a posibles impactos negativos de la radiación.

Se establecen estrictos requisitos para la gestión de desechos radiactivos con el propósito de asegurar su manipulación segura y responsable. Esto implica la recolección, almacenamiento, transporte y disposición final de estos desechos para minimizar riesgos potenciales para la salud pública y el medio ambiente.

Asimismo, se promulgan normas sobre el control de calidad y la prestación de servicios en medicina nuclear, que se centran en garantizar la excelencia en la práctica clínica y la seguridad del paciente. Esto incluye la capacitación y certificación del personal médico y técnico, así como la implementación de protocolos y procedimientos estandarizados para garantizar la calidad y precisión de los estudios realizados.

En resumen, la regulación del uso de material radiactivo en medicina nuclear en Colombia refleja un enfoque integral y proactivo para garantizar la seguridad y protección en todas las etapas de estos procedimientos. Estas normativas son el resultado de un análisis detallado y exhaustivo de los riesgos y beneficios asociados con el uso de la radiación en el ámbito médico, y representan un compromiso continuo con la excelencia y la seguridad en la práctica clínica.



## Bibliografía

- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2016). Seguridad física de los materiales radiactivos durante su uso y almacenamiento. [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1840S\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1840S_web.pdf)
- Asociación Colombiana de Medicina Nuclear. (2021). Regulación de los servicios de medicina nuclear. SciELO Colombia. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-41572021000400692&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-41572021000400692&script=sci_arttext)
- Asociación Colombiana de Medicina Nuclear. (2021). Reflexiones históricas sobre la calidad en medicina nuclear en Colombia: regulación normativa y dinámica del mercado. <https://acmn.com.co/reflexiones-historicas-sobre-la-calidad-en-medicina-nuclear-en-colombia-regulacion-normativa-y-dinamica-del-mercado/>
- Ministerio de Minas y Energía. (2021). RESOLUCIÓN No -. <https://www.minenergia.gov.co/documents/7512/20914-1695.pdf>
- Agencia Internacional de Energía Atómica. (2019). Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos (INES). <https://www.iaea.org/es>
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (s/f). <https://www.iaea.org/es>
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2022). ¿Qué es la radiación?. <https://www.iaea.org/es>
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2024). ¿Qué son los radiofármacos?. <https://www.iaea.org/es>
- Instituto Nacional de Cancerología. (s/f). <https://www.cancer.gov.co/somos-inc/nuestra-institucion/resena-historica>
- País, E. (2023, agosto 28). La Medicina Nuclear, un avance vital en la salud de los colombianos. El País. <https://www.elpais.com.co/el-corazon-de-la-salud/la-medicina-nuclear-un-avance-vital-en-la-salud-de-los-colombianos-2855.html>
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (s/f). CONPES 4075 - Transición energética. <https://camacol.co/descargable/conpes-4075-transicion-energetica>
- Becquerel, H. (1896). Sur les radiations émises par phosphorescence. \*Comptes Rendus\*, 122, 501-503.
- Cherry, S. R., Sorenson, J. A., & Phelps, M. E. (2012). \*Physics in Nuclear Medicine\* (4th ed.). Elsevier Health Sciences.

Curie, M., & Curie, P. (1898). Sur une nouvelle substance fortement radioactive contenue dans la pechblende. \*Comptes Rendus de l'Académie des Sciences\*, 127, 175-178.

Glasser, O. (1993). Wilhelm Conrad Röntgen and the Early History of the Roentgen Rays. Norman Publishing.

International Atomic Energy Agency. (2023). Nuclear Power and the Environment. Retrieved from <https://www.iaea.org/topics/nuclear-power-and-the-environment>

Nobel Media. (2024). The Nobel Prize in Physics 1903. Retrieved from <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1903/summary/>

Rutherford, E. (1908). \*Radiation from Radioactive Substances\*. University Press.

World Nuclear Association. (2023). Nuclear Power in the World Today. Retrieved from <https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx>

Arnold, L. (1992). Windscale 1957: Anatomy of a Nuclear Accident. Palgrave Macmillan.

Cherry, S. R., Sorenson, J. A., & Phelps, M. E. (2012). *Physics in Nuclear Medicine* (4th ed.). Elsevier Health Sciences.

Hurst, D. G. (1997). *Chalk River's Nuclear Accident: Dec 12, 1952*. Atomic Energy of Canada Limited.

International Atomic Energy Agency. (2020). *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*. Retrieved from

<https://www.iaea.org/publications/10560/radiation-protection-and-safety-of-radiation-sources-international-basic-safety-standards>

International Atomic Energy Agency. (2022). *The International Nuclear and Radiological Event Scale (INES)*. Retrieved from <https://www.iaea.org/resources/databases/international-nuclear-and-radiological-event-scale-ines>

World Health Organization. (2016). *Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes*. Retrieved from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/chernobyl-accident>

World Nuclear Association. (2023). *Uses of Radiation*. Retrieved from <https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/uses-of-radiation.aspx>

Greenpeace. (2011). Lecciones de Fukushima. Recuperado de <https://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/nuclear/Fukushima2011.pdf>

International Atomic Energy Agency. (2006). Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-Economic Impacts. Recuperado de <https://www.iaea.org/sites/default/files/chernobyl.pdf>

International Atomic Energy Agency. (2020). Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. Recuperado de <https://www.iaea.org/publications/10560/radiation-protection-and-safety-of-radiation-sources-international-basic-safety-standards>

International Atomic Energy Agency. (2023). The International Nuclear and Radiological Event Scale (INES). Recuperado de <https://www.iaea.org/resources/databases/international-nuclear-and-radiological-event-scale-ines>

Nuclear Regulatory Commission. (2022). Nuclear Power Plant Safety and Security. Recuperado de <https://www.nrc.gov/reactors/operating/ops-experience/safety.html>

World Nuclear Association. (2023). Fukushima Daiichi Accident. Recuperado de <https://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/fukushima-daiichi-accident.aspx>

World Nuclear Transport Institute. (2018). Transport of Radioactive Materials. Recuperado de [https://www.wnti.co.uk/media/40974/Transport\\_of\\_Radioactive\\_Materials.pdf](https://www.wnti.co.uk/media/40974/Transport_of_Radioactive_Materials.pdf)

García-Sánchez, I.-M., & Rodríguez-Bolívar, M.-P. (2012). Accounting for the financial and economic effects of central-local government relationships: A research note on the Spanish case. *Local Government Studies*, 38(4), 447-464.

Gobierno de Colombia. (2015). Reglamento de la Administración Pública. Bogotá: Editorial Normas.

Barzelay, M. (2001). *The new public management: Improving research and policy dialogue*. Berkeley: University of California Press.

Organización Mundial de la Salud. (2017). Normas de seguridad para instalaciones y actividades de medicina nuclear. Ginebra: OMS.

Kooiman, J. (1993). *Modern Governance: New Government-Society Interactions*. London: SAGE Publications.

Jann, W., & Wegrich, K. (2007). Theories of the Policy Cycle. In H. Colebatch (Ed.), *Beyond the Policy Cycle: The Policy Process in Australia* (pp. 29-43). Crows Nest, NSW: Allen & Unwin.

Gómez, J. (2017). \*Historia de la medicina nuclear en Colombia\*. *Revista Colombiana de Radiología*, 28(1), 35-42.

Instituto Nacional de Cancerología. (2018). \*70 años del Instituto Nacional de Cancerología\*. INC.

Martínez, A., Pérez, L., & Silva, M. (2016). \*Desarrollo y aplicaciones de la medicina nuclear en Colombia\*. *Revista de Ciencias Médicas*, 23(2), 112-121.

Ministerio de Salud y Protección Social. (2015). \*Evolución de la medicina nuclear en Colombia\*. Ministerio de Salud y Protección Social.

Rodríguez, P. (2020). \*Expansión de los servicios de medicina nuclear en Colombia durante el siglo XX\*. *Revista Médica*, 31(3), 287-298.

Roa, J., Quintero, L., & Sánchez, M. (2015). \*El Reactor Nuclear de Investigación IAN-R1: Impacto y aplicaciones en Colombia\*. Boletín de Ciencias Nucleares, 14(2), 49-57.

Fundación Valle del Lili. (2021). \*Historia y evolución\*. Fundación Valle del Lili.

Gómez, J., Martínez, A., & Silva, M. (2019). \*Formación de especialistas en medicina nuclear en Colombia\*. Revista Colombiana de Radiología, 30(2), 58-63.

Instituto Nacional de Cancerología. (2020). \*Estrategias y acciones de control del cáncer en Colombia\*. INC.

Martínez, A., Pérez, L., & Silva, M. (2017). \*Desarrollo y aplicaciones de la medicina nuclear en Colombia\*. Revista de Ciencias Médicas, 24(3), 143-150.

Ministerio de Salud y Protección Social. (2015). \*Evolución del Plan Nacional de Cáncer en Colombia\*. Ministerio de Salud y Protección Social.

Rodríguez, P. (2018). Implementación del Plan Nacional de Cáncer a nivel regional y local. Revista de Salud Pública, 35(4), 289-296.

Comisión Colombiana de Energía Nuclear (CCEN). (2015). Resolución 18143 de 2002. Bogotá, D.C.: CCEN.

Comisión Colombiana de Energía Nuclear (CCEN). (2016). Resolución 1420 de 2016. Bogotá, D.C.: CCEN.

Comisión Colombiana de Energía Nuclear (CCEN). (2018). Resolución 1419 de 2018. Bogotá, D.C.: CCEN.

Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). (2018). Seguridad de las fuentes de radiación y protección en la medicina nuclear. Viena, Austria: OIEA.

Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). (2019). Ciclo del combustible nuclear. Viena, Austria: OIEA.

Consejo de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica. (2002). Reglamento de Protección Radiológica y Seguridad Nuclear. [https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/PLAN\\_ESTRATEGICO\\_INSTITUCIONAL\\_2019\\_-\\_2022\\_VERSION\\_1.0-1.pdf](https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/PLAN_ESTRATEGICO_INSTITUCIONAL_2019_-_2022_VERSION_1.0-1.pdf)

Ministerio de Minas y Energía. (2002). Resolución 181434 de 2002.

[https://www.minenergia.gov.co/documents/5759/Memorias\\_Congreso\\_MME\\_2018-2019\\_2.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/5759/Memorias_Congreso_MME_2018-2019_2.pdf)

Ministerio de Minas y Energía. (2004). Resolución 181419 de 2004.

[https://www.minenergia.gov.co/documents/5759/Memorias\\_Congreso\\_MME\\_2018-2019\\_2.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/5759/Memorias_Congreso_MME_2018-2019_2.pdf)

Ministerio de Minas y Energía. (2004). Resolución 181289 de 2004.

[https://www.minenergia.gov.co/documents/5759/Memorias\\_Congreso\\_MME\\_2018-2019\\_2.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/5759/Memorias_Congreso_MME_2018-2019_2.pdf)

Ministerio de Minas y Energía. (2008). Resolución 180052 de 2008.  
[https://www.minenergia.gov.co/documents/5759/Memorias\\_Congreso\\_MME\\_2018-2019\\_2.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/5759/Memorias_Congreso_MME_2018-2019_2.pdf)

Ministerio de Minas y Energía. (2010). Resolución 180005 de 2010.  
[https://www.minenergia.gov.co/documents/5759/Memorias\\_Congreso\\_MME\\_2018-2019\\_2.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/5759/Memorias_Congreso_MME_2018-2019_2.pdf)

Ministerio de Minas y Energía. (2014). Resolución 90874 de 2014.  
[https://www.minenergia.gov.co/documents/5759/Memorias\\_Congreso\\_MME\\_2018-2019\\_2.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/5759/Memorias_Congreso_MME_2018-2019_2.pdf)

Ministerio de Salud y Protección Social. (2015). Resolución 4245 de 2015.  
<https://www.minsalud.gov.co/>

Ministerio de Minas y Energía. (2016). Resolución 41226 de 2016.  
[https://www.minenergia.gov.co/documents/5759/Memorias\\_Congreso\\_MME\\_2018-2019\\_2.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/5759/Memorias_Congreso_MME_2018-2019_2.pdf)

Ministerio de Minas y Energía. (2016). Resolución 41178 de 2016.  
[https://www.minenergia.gov.co/documents/5759/Memorias\\_Congreso\\_MME\\_2018-2019\\_2.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/5759/Memorias_Congreso_MME_2018-2019_2.pdf)

Ministerio de Salud y Protección Social. (2018). Resolución 482 de 2018.  
<https://www.minsalud.gov.co/>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2019). Resolución 3100 de 2019.  
<https://www.minsalud.gov.co/>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2024). Resolución 560 del 1 de abril de 2024.  
<https://www.minsalud.gov.co/>