



GACETA DEL CONGRESO

SENADO Y CÁMARA

(Artículo 36, Ley 5ª de 1992)

IMPRENTA NACIONAL DE COLOMBIA

www.imprenta.gov.co

ISSN 0123 - 9066

AÑO XXXIV - Nº 68

Bogotá, D. C., miércoles, 12 de febrero de 2025

EDICIÓN DE 45 PÁGINAS

DIRECTORES:

DIEGO ALEJANDRO GONZÁLEZ GONZÁLEZ

SECRETARIO GENERAL DEL SENADO

www.secretariasenado.gov.co

JAIME LUIS LACOUTURE PEÑALOZA

SECRETARIO GENERAL DE LA CÁMARA

www.camara.gov.co

RAMA LEGISLATIVA DEL PODER PÚBLICO

CÁMARA DE REPRESENTANTES

PROYECTOS DE LEY

PROYECTO DE LEY NUCLEAR -
ÁTOMOS PARA LA VIDA NÚMERO 466 DE
2024 CÁMARA

por el cual se crea la Agencia Nacional de Seguridad Nuclear (ANSN) y se establece el marco legislativo que regula las actividades que involucran el uso de las radiaciones ionizantes, los materiales nucleares y los materiales radiactivos en el territorio nacional.

CAPÍTULO I.

Disposiciones Generales

Artículo 1º. Objeto. La presente ley tiene por objeto:

- Establecer la ANSN con las funciones y responsabilidades enunciadas en la presente ley, para que ejerza el control regulatorio de los usos seguros y pacíficos de las tecnologías nucleares y de las radiaciones ionizantes.
- Determinar la estructura institucional del sector, facilitando con ello el cumplimiento de las obligaciones establecidas en los instrumentos internacionales pertinentes que ha suscrito el Estado Colombiano.
- Regular las instalaciones, actividades y prácticas relacionadas con los usos seguros y pacíficos de las tecnologías nucleares y de las radiaciones ionizantes, incluyendo sus aplicaciones en los campos de la salud, la industria, la agricultura, la investigación, el ambiente, la docencia, y aquellos otros en los que pudiera haber exposición a las radiaciones ionizantes.
- Velar por la protección adecuada, presente y futura, de las personas y el ambiente contra los efectos nocivos de la radiación ionizante.

- Promover la seguridad tecnológica y seguridad física de las instalaciones, actividades y prácticas relacionadas con la aplicación de tecnología nuclear y de las radiaciones ionizantes.
- Fomentar la investigación y el desarrollo tecnológico, científico, económico, ambiental y social, y la innovación en el campo del uso seguro y pacífico de las tecnologías nucleares y de las radiaciones ionizantes en beneficio de todos los colombianos.

Artículo 2º. Fines Pacíficos. Todos los materiales nucleares existentes en Colombia se utilizarán exclusivamente para fines pacíficos. En consecuencia, todas las instalaciones, actividades y prácticas relacionadas con la aplicación de tecnología nuclear, los materiales nucleares y las radiaciones ionizantes, serán realizadas e implementadas exclusivamente con fines pacíficos.

Los fines pacíficos promovidos en esta ley, guardarán relación con el cumplimiento de las obligaciones internacionales pertinentes asumidas por el Estado Colombiano en esta materia, incluyendo entre otras, aquellas establecidas en el Tratado sobre la no Proliferación de las Armas Nucleares (TNP), el Tratado sobre la Proscripción de las Armas Nucleares en América Latina y el Caribe (Tratado de Tlatelolco), el Acuerdo de Salvaguardias Amplias (ASA) y su Protocolo Adicional (PA), el Tratado sobre la Prohibición de las Armas Nucleares (TPAN); así como la Resolución número 1540 de 2004 del Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas.

Lo anterior, sin perjuicio del cumplimiento de las obligaciones que puedan derivar de futuros instrumentos internacionales en materia nuclear a los que se adhiera el Estado Colombiano.

Parágrafo. Prohibición de armas nucleares. Se prohíben en Colombia las armas nucleares y demás dispositivos explosivos nucleares, así como su control directo o indirecto, su fabricación o adquisición por otros medios y la búsqueda u obtención de asistencia para su fabricación.

Artículo 3°. *Ámbito de aplicación.* La presente ley se aplicará a todas las actividades, instalaciones y prácticas relacionadas con los usos pacíficos de la energía nuclear y las radiaciones ionizantes, en todo el territorio de la República de Colombia que, a los fines de la presente ley, incluirá el espacio aéreo, el mar territorial, la plataforma continental y todo lugar donde el Estado soberano de Colombia ejerza jurisdicción y se aplican a todas las personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras, así como las instituciones estatales y entidades descentralizadas.

La presente ley no se aplicará a todas las actividades o prácticas relacionadas con las exposiciones que se han excluido del control reglamentario en virtud de los reglamentos establecidos por la ANSN. Tampoco se aplicará a la reglamentación de fuentes de radiación no ionizante.

Artículo 4°. *Principios generales.* Los principios generales que rigen el desarrollo y aplicaciones pacíficas de la ciencia y la tecnología nuclear en Colombia son los siguientes:

1. **Protección a la Población y el Ambiente:** Garantizar la protección de las personas, la población y del ambiente contra los efectos nocivos de la radiación ionizante, tanto en el presente como en el futuro
2. **Beneficios Sociales y Económicos:** Contribuir al desarrollo social y económico del país.
3. **Desarrollo Científico y Tecnológico:** Promover el desarrollo del conocimiento de las ciencias y tecnologías nucleares para contribuir a la soberanía científica y tecnológica, impulsar el desarrollo y crecimiento del país y anticiparse a los retos tecnológicos futuros, así como promover la formación investigativa, la generación de nuevo conocimiento, la investigación, el desarrollo tecnológico, y la apropiación social del conocimiento, para contribuir a la soberanía científica, tecnológica y la innovación.
4. **Cooperación Internacional:** Mantener relaciones estrechas con contrapartes en otros Estados y con Organismos Internacionales pertinentes, debido a que el uso de materiales nucleares y otros materiales radiactivos implica riesgos que requieren un alto nivel de colaboración y apoyo internacional.
5. **Comunicación:** Implementar las acciones necesarias para una oportuna y efectiva comunicación a la población sobre los diversos aspectos de la tecnología nuclear y sus aplicaciones.

6. **Cultura de la Seguridad:** Promover la cultura de la seguridad tecnológica y de la seguridad física nuclear.

Artículo 5°. *Definiciones.* Para los efectos de la presente ley, se entenderá por:

- **Accidente:** Todo suceso involuntario, incluidos los errores de operación, fallos del equipo u otros contratiempos, cuyas consecuencias reales o potenciales no sean despreciables desde el punto de vista de la seguridad tecnológica.
- **Actividades:** Toda acción relacionada con la posesión, la producción, el uso, la importación la exportación y el transporte de fuentes de radiación, incluyendo los rayos X, los rayos gamma y las partículas beta, alfa, neutrones, protones, y los iones más pesados, usados en la salud, la industria, la agricultura, la investigación, el ambiente, la docencia, la generación de energía eléctrica y otras actividades que pudieran producir exposición a las radiaciones ionizantes, así como cualquier otra acción que especifique la Agencia Nacional de Seguridad Nuclear (ANSN).
- **Acto Doloso:** Acto intencional, no autorizado, de intento de retirada, uso, o amenaza de uso de materiales nucleares o radiactivos, que pueda causar o cause, un perjuicio o interferencia en la explotación de una instalación, actividad o práctica.
- **Acuerdo de Salvaguardias:** Acuerdo suscrito entre Colombia y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) con entrada en vigor el 22 de diciembre de 1982 y su protocolo adicional aprobado mediante Ley 1156 de 2007.
- **ANSN:** Corresponde a la Agencia Nacional de Seguridad Nuclear, la cual es la autoridad competente para ejercer las funciones descritas en la presente ley, relacionadas con los usos seguros y pacíficos de las tecnologías nucleares y de las radiaciones ionizantes en todo el territorio del Estado Colombiano.
- **Autorización:** Permiso escrito otorgado por parte de la ANSN, para realizar las actividades, prácticas, o para el funcionamiento de instalaciones reguladas por esta ley.
- **Ciberseguridad:** Corresponde a las medidas implementadas para minimizar el nivel de riesgo al que están expuestas las instalaciones, ante amenazas o incidentes de naturaleza cibernética, buscando la disponibilidad, integridad, autenticación, confidencialidad y no repudio de las interacciones digitales. La ciberseguridad comprende el conjunto de recursos, políticas, conceptos de seguridad, salvaguardas de seguridad, directrices, métodos de gestión del riesgo, acciones, investigación y desarrollo, formación,

prácticas idóneas, seguros y tecnologías que pueden utilizarse para dicho fin.

- **Clausura:** Medida administrativa y técnica que se adopta para poder suprimir parcial o totalmente los controles reglamentarios aplicados a una actividad, práctica o instalación.
- **Combustible Gastado:** Es el combustible nuclear irradiado en el núcleo de un reactor nuclear y extraído permanentemente del mismo.
- **Combustible Nuclear:** Material nuclear fisiónable consistente en elementos fabricados para cargarlos dentro del núcleo de un reactor nuclear, incluyendo aquellos elementos fabricados con más de un óxido de elementos fisibles.
- **Cultura de la seguridad tecnológica y de la seguridad física nuclear:** Conjunto de características, actitudes y comportamientos de personas, organizaciones e instituciones que contribuye a apoyar, reforzar y mantener la seguridad tecnológica y la seguridad física.
- **Desechos Radiactivos:** Material radiactivo que no se prevé seguir utilizando de ningún modo y que contiene, o está contaminado por, radio nucleídos con una concentración de la actividad mayor que los niveles de dispensa establecidos por la ANSN.
- **Dispensa:** Se entiende cuando la ANSN elimina de todo control reglamentario materiales u objetos radiactivos utilizados en las instalaciones, actividades y prácticas autorizadas.
- **Disposición final:** Se entiende la colocación de combustible gastado o desechos radiactivos en una instalación apropiada sin intención de recuperarlos.
- **Emergencia Nuclear o Radiológica:** Es la emergencia en la que existe, o se considera que existe, un peligro para las personas o el ambiente debido a la energía derivada de una reacción nuclear en cadena o de la desintegración de los productos de una reacción en cadena; o debido a la exposición a la radiación ionizante.
- **Enfoque graduado:** Aplicación de medidas de Seguridad Tecnológica y Seguridad Física en un grado proporcional a la magnitud de los posibles riesgos radiológicos derivados de la explotación de una instalación, de una actividad o práctica, y a las posibles consecuencias de actos delictivos o actos intencionales no autorizados que estén relacionados con materiales o instalaciones nucleares, otros materiales radiactivos, instalaciones o actividades conexas, respectivamente.
- **Entidad o Persona Explotadora:** Es toda entidad o persona que esté autorizada o sea responsable de la seguridad tecnológica y seguridad física nuclear, protección radiológica, de los desechos radiactivos o del transporte cuando se llevan a cabo por instalaciones, o en actividades o prácticas que involucre el uso o explotación de materiales nucleares y/o fuentes radiactivas.
- **Exención:** Se entiende como la determinación por parte de la ANSN de que una fuente adscrita a una práctica o una práctica no necesita estar sometida a algunos o todos los requisitos establecidos por la presente ley o sus reglamentos sobre la base de que la exposición (incluida la exposición potencial), la fuente o la práctica es demasiado pequeña para justificar la aplicación de aquellos requisitos, o de que ésta es la mejor opción de protección independientemente del nivel real de las dosis o los riesgos radiológicos.
- **Exportación:** Se entiende la transferencia física, desde Colombia a un Estado importador de materiales nucleares u otros materiales radiactivos, incluidas las fuentes, así como equipos y materiales no nucleares especificados para notificar las exportaciones e importaciones de acuerdo al anexo II del protocolo adicional del Acuerdo de Salvaguardias.
- **Exposición ocupacional:** Exposición de los trabajadores, personas en formación y estudiantes con contacto directo o indirecto a la radiación ionizante, durante el desempeño de su actividad en el ámbito laboral o académico que implique la exposición a la radiación artificial o al material radiactivo de origen natural.
- **Exposición:** Estado o situación de estar sometido a irradiación. La exposición a la radiación ionizante puede dividirse en (i) categoría de exposición según la persona expuesta, y (ii) en situaciones de exposición, según las circunstancias de la exposición, y también en función de la fuente de exposición. El término no debe utilizarse como sinónimo de dosis, la cual es una medida de los efectos de la exposición.
- **Fuente de radiación:** Todo aquello que emita radiaciones ionizantes tales como generadores de radiación ionizante o fuente que contiene material radiactivo y que se utiliza como fuente de radiación.
- **Fuente en desuso:** Fuente sellada que ya no se utiliza, ni se tiene la intención de utilizar, en la Actividad, Práctica o Instalación para la cual se otorgó la autorización.
- **Fuente huérfana:** Fuente radiactiva que no está sometida a control reglamentario, sea porque nunca lo ha estado, sea porque

ha sido abandonada, perdida, extraviada o transferida sin la debida autorización.

- **Fuente radiactiva:** Fuente que contiene material radiactivo y que se utiliza como fuente de radiación.
- **Fuente sellada:** Fuente radiactiva en la que el material radiactivo está encerrado de forma hermética y permanente en una cápsula.
- **Fuente:** Se entiende cualquier elemento que pueda causar exposición a las radiaciones, por ejemplo, por emisión de radiación ionizante o de sustancias o materiales radiactivos, y que pueda tratarse como un todo a los efectos de la Seguridad Tecnológica.
- **Generador de Radiación Ionizante:** Es el dispositivo funcional que reúne sistemas y subsistemas eléctricos, electrónicos, incluidos los programas informáticos que intervengan en su buen funcionamiento, el cual es capaz de generar radiación ionizante, como rayos X, neutrones, electrones u otras partículas cargadas, que puede utilizarse con fines científicos, industriales, médicos, investigativos u otros.
- **Gestión de los Desechos Radiactivos:** Conjunto de actividades administrativas y operacionales relacionadas con la manipulación, preparación, tratamiento, acondicionamiento, transporte, almacenamiento y disposición final de los desechos radiactivos.
- **Incidente:** Todo suceso no intencionado, incluidos los errores de funcionamiento, los fallos del equipo, los sucesos iniciadores, los precursores de accidentes, los cuasi accidentes y otros contratiempos o actos no autorizados, dolosos o no, cuyas consecuencias reales o potenciales no son despreciables desde el punto de vista de la seguridad física y la seguridad tecnológica.
- **Inspección:** Examen, observación, evaluación, labor de vigilancia, medición o ensayo que se realiza para evaluar estructuras, sistemas, componentes y materiales, así como actividades operacionales, procesos técnicos, procesos de organización, procedimientos, competencias profesionales y técnicas de las personas y organizaciones, que permitan la verificación efectiva del cumplimiento de la presente ley como de su reglamentación.
- **Instalación de gestión de desechos radiactivos:** Instalación específicamente diseñada para la manipulación, el tratamiento, el acondicionamiento, el almacenamiento o la disposición final de desechos radiactivos.
- **Instalaciones Nucleares:** Comprende a las centrales nucleares; otros reactores nucleares (tales como reactores de investigación y conjuntos subcríticos y críticos); pequeños reactores nucleares y micro reactores;

instalaciones de enriquecimiento e instalaciones de fabricación de combustible nuclear; instalaciones de conversión utilizadas para generar hexafluoruro de uranio; instalaciones de almacenamiento y plantas de reprocesamiento de combustible irradiado; instalaciones de gestión de desechos radiactivos en las que estos se tratan, acondicionan, almacenan o someten a disposición final dichos combustibles; así como cualquier otra instalación nuclear que especifique la ANSN.

- **Instalaciones:** Incluye las instalaciones nucleares, los establecimientos de irradiación utilizados con fines médicos, industriales, de investigación y de otra índole, las instalaciones de extracción y de tratamiento de materias primas que entrañen exposición debida a materiales radiactivos, las instalaciones de gestión de desechos radiactivos, o donde haya instalados generadores de radiación ionizante, y cualquier otro lugar donde se produzcan, traten, procesen, utilicen, manipulen, almacenen o envíen a su disposición final materiales radiactivos, así como cualquier otra instalación que especifique la ANSN.
- **Material Nuclear:** Se entiende el plutonio, excepto aquel cuyo contenido en el isótopo plutonio 238 exceda del 80%; uranio 233; uranio enriquecido en los isótopos 235 o 233; uranio que contenga la mezcla de isótopos presentes en su estado natural, pero no en forma de mineral o de residuos de mineral; uranio empobrecido y torio y cualquier material que contenga uno o varios de los materiales citados. Para los efectos de la aplicación de las salvaguardias del OIEA, se entiende por materiales nucleares la definición que se encuentra en el Acuerdo de Salvaguardias.
- **Material Radiactivo:** Material que según lo establecido por esta ley y por la regulación emitida por la Agencia Nacional de Seguridad Nuclear está sometido a control reglamentario debido a su radiactividad.
- **Notificación:** Es el documento por medio del cual una persona natural o jurídica presenta a la ANSN su intención de llevar a cabo la explotación de una Instalación, Actividad, o Práctica.
- **OIEA:** Organismo Internacional de Energía Atómica.
- **Persona con Titularidad de la Autorización:** Persona natural o jurídica a cuyo nombre la ANSN otorga permiso escrito para desarrollar cualquiera de las prácticas, actividades, y/o explotación de cualquier instalación reguladas por la presente ley.
- **Personal Autorizado:** Toda persona que cuenta con una autorización otorgada por la

ANSN para participar en el desempeño de las actividades relacionadas con la seguridad tecnológica y seguridad física, así como de las salvaguardias.

- **Protección Radiológica:** Medidas destinadas a la protección de las personas y el ambiente contra los efectos nocivos, presentes y futuros, de la exposición a la radiación ionizante.
- **Radiación Ionizante:** A efectos de protección radiológica, es la radiación capaz de producir pares de iones en material biológico.
- **Reactor nuclear:** Conjunto de dispositivos y estructuras destinados a iniciar, controlar y mantener un proceso de fisión o de fusión nuclear y las instalaciones auxiliares asociadas.
- **Riesgo Radiológico:** Probabilidad de causar efectos en la salud por la exposición a la radiación, incluido cualquier otro riesgo relacionado con la seguridad, y el ambiente que pueda surgir como consecuencia directa de: (i) la exposición a la radiación; (ii) la presencia de material radiactivo (incluidos desechos radiactivos) o su emisión al ambiente, o (iii) la pérdida de control del núcleo de un reactor nuclear, de una reacción nuclear en cadena, de una fuente radiactiva o de cualquier otra fuente de radiación.
- **Seguridad Física:** Medidas destinadas a la Prevención y la detección de actos delictivos o actos intencionales no autorizados, hurto, sabotaje, acceso no autorizado, transferencia ilegal u otros actos dolosos que están relacionados con materiales nucleares, otros materiales radiactivos, instalaciones o actividades conexas, o que vayan dirigidos contra ellos, así como la respuesta a esos actos. La seguridad física, incluye las medidas que se contemplan en la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares y su enmienda.
- **Seguridad Tecnológica:** Conjunto de normas, condiciones y actividades que tienen por objeto la protección de las personas, los bienes y el ambiente, contra los riesgos radiológicos derivados de la utilización de las radiaciones ionizantes (i.e. protección radiológica), así como la seguridad de las instalaciones y actividades que dan lugar a esos riesgos.
- **Situaciones de exposición:** La situación de exposición está referida a las circunstancias de exposición de la persona expuesta, incluyendo situaciones de exposición de emergencia, de exposición existente y de exposición planificada.
- **Transporte:** Todas las operaciones y condiciones asociadas con el traslado físico deliberado de materiales nucleares

y materiales radiactivos (distinto del que forma parte del sistema de propulsión del vehículo). Incluye todas las operaciones y condiciones relacionadas con dicho traslado, tales como el diseño, fabricación, mantenimiento, reparación de embalajes, la preparación, expedición, carga, acarreo, incluido el almacenamiento en tránsito, expedición después del almacenamiento descarga y recepción en el destino final de cargas de dichos materiales y bultos.

CAPÍTULO II.

Agencia Nacional De Seguridad Nuclear (ANSN)

Artículo 6º. Naturaleza jurídica y denominación. Créese la ANSN, como una agencia estatal del sector descentralizado de la rama ejecutiva del orden nacional, con personería jurídica, patrimonio propio y autonomía administrativa, técnica y financiera, adscrita al Departamento Nacional de Planeación.

Artículo 7º. Objeto de la Agencia. La ANSN es un organismo de carácter técnico, especializado, responsable de la regulación, autorización, inspección, vigilancia, control y fiscalización de las instalaciones, actividades y prácticas relacionadas con la aplicación de los usos seguros y pacíficos de las tecnologías nucleares y de las radiaciones ionizantes, incluyendo en los campos de la salud, industria, agricultura, investigación, ambiente y cualquier otro en el que se pudiera producir exposición a las radiaciones ionizantes, incluyendo todas las situaciones de exposición.

Artículo 8º. Domicilio. La ANSN tendrá como domicilio principal la ciudad de Bogotá, D. C.

Artículo 9º. Régimen jurídico. Los actos unilaterales que realice la ANSN para el desarrollo de sus funciones estarán sujetos a las disposiciones del derecho público.

Los contratos que deba celebrar la ANSN se regirán, por regla general, por las normas de contratación pública. La ANSN expedirá un manual de contratación en la cual se reglamente lo previsto en este artículo.

Artículo 10. Funciones de la Agencia Nacional de Seguridad Nuclear. Las funciones y responsabilidades de la ANSN serán las siguientes:

1. Formular, adoptar, dirigir, coordinar, ejecutar y articular las políticas, planes, programas, estrategias, proyectos y medidas relacionadas con la seguridad tecnológica, la seguridad física y salvaguardias de las tecnologías nucleares y/o de las radiaciones ionizantes.
2. Velar por el cumplimiento en todo el territorio nacional de las disposiciones que se establezcan en la presente ley o cualquiera que la complemente o sustituya, de las normas y reglamentos que de ella se deriven, y del cumplimiento de los acuerdos

- internacionales suscritos por el Estado Colombiano.
3. Expedir reglamentos y guías que se requieran para la aplicación de la presente ley, así como velar por el cumplimiento de sus disposiciones legales y regulatorias.
 4. Otorgar, modificar, renovar, suspender, cancelar, evaluar o revocar autorizaciones para las instalaciones, actividades o prácticas reguladas por la presente ley.
 5. Reglamentar aspectos tales como (i) la producción, uso, manipulación, fabricación, compra, venta, conversión, concentración, dilución, almacenamiento, transporte, comercialización, importación, exportación y gestión de materiales nucleares o radiactivos y sus desechos; así como y (ii) el emplazamiento, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, cese temporal, cierre y clausura de instalaciones.
 6. Definir los criterios para la exención del control regulatorio, establecer los niveles autorizados para descarga, la clasificación y la categorización de materiales nucleares y otros materiales radiactivos, así como las fuentes de radiación, y aprobar los límites operativos y condiciones relacionadas con las exposiciones al público, incluidos los límites autorizados para descarga.
 7. Inspeccionar, supervisar y evaluar la explotación de instalaciones, actividades y prácticas para verificar el cumplimiento de la presente ley, los reglamentos aplicables y las condiciones de las autorizaciones aplicando un enfoque graduado de control.
 8. Establecer y mantener contacto para el intercambio de información y cooperación con otras autoridades nacionales y con órganos reguladores de otros países y organizaciones internacionales relevantes, en las áreas relacionadas con sus funciones.
 9. Promover y suscribir convenios de cooperación interinstitucionales en los ámbitos de su competencia.
 10. Establecer mecanismos y procedimientos apropiados para informar y consultar al público y a sociedades o asociaciones profesionales relacionadas con este ámbito, así como a otras partes interesadas acerca del proceso de reglamentación y los aspectos de las instalaciones, actividades o prácticas reguladas y relacionadas con la seguridad, la salud y el ambiente, así como en caso de emergencias nucleares y radiológicas resultantes de incidentes, accidentes y otros sucesos anormales.
 11. Contar con el asesoramiento o las opiniones de expertos que se requerirán para el desempeño de sus funciones, entre otras cosas, mediante la contratación de consultores, la contratación de proyectos específicos, o el establecimiento de órganos asesores permanentes o ad hoc, de acuerdo con los procedimientos establecidos en las leyes de contratación estatal vigentes, asegurando que dichos expertos no estén relacionados o tengan intereses en el desarrollo o promoción de las tecnologías nucleares. Dichas asesorías no eximirán a la ANSN de las responsabilidades que le son asignadas por la presente ley.
 12. Establecer y mantener un registro nacional de fuentes de radiación, así como un registro nacional de personas autorizadas para realizar actividades prácticas y/o explotación de una instalación en virtud de la presente ley, así como, establecer los requisitos necesarios en materia de presentación de informes y mantenimiento de inventarios o registros con respecto a fuentes de radiación y otros materiales radiactivos.
 13. Proteger la información física y digital que reciba en cumplimiento de sus funciones, de acuerdo con los procedimientos establecidos en las leyes del Estado Colombiano en la materia.
 14. Establecer y mantener un sistema nacional de contabilidad y control de materiales nucleares y de registro de autorizaciones para esos materiales, así como establecer los requisitos necesarios en materia de presentación de informes y mantenimiento de inventarios o registros de conformidad con el Acuerdo de Salvaguardias y cualquier protocolo concertado entre Estado Colombiano y el OIEA.
 15. Recopilar de entidades o personas públicas o privadas información, documentos y dictámenes que puedan ser necesarios y apropiados para el desempeño de sus funciones.
 16. Establecer los requisitos para el reconocimiento de la competencia del personal que tenga responsabilidades en las áreas de la seguridad tecnológica y seguridad física de una instalación, actividad o práctica.
 17. Colaborar y asistir a otras autoridades competentes en la planificación y respuesta a emergencias nucleares o radiológicas.
 18. Fijar las tarifas y tasas de todos los servicios de autorización, control e inspección de conformidad con las normas y los procedimientos financieros del Estado Colombiano.
 19. Aplicar medidas sancionatorias en caso de incumplimiento o violación de la presente ley, los reglamentos aplicables o las condiciones de las autorizaciones, sin perjuicio de las competencias asignadas a otras autoridades.

20. Asegurar que se adopten medidas correctivas si se detectan situaciones de inseguridad reales o potenciales en cualquier emplazamiento o lugar donde se realicen actividades, prácticas y/o instalaciones autorizadas.
 21. Establecer y aplicar en cooperación con el Ministerio de Comercio Industria y Turismo, la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales, y demás entidades competentes o las que hagan sus veces, el sistema de control para la exportación e importación de materiales nucleares y radiactivos, fuentes, equipos, información y tecnología que se considere necesario para cumplir los compromisos internacionales pertinentes del Estado Colombiano, incluyendo los equipos y materiales no nucleares especificados en el anexo II del protocolo adicional del acuerdo de Salvaguardias, sin perjuicio de las competencias asignadas a otras autoridades,.
 22. Establecer reglamentos relativos a la Seguridad Tecnológica, Seguridad Física y a las Salvaguardias relativos a los materiales e instalaciones nucleares y otros materiales radiactivos, y sus instalaciones conexas, con inclusión de medidas encaminadas a detectar y prevenir los actos no autorizados o dolosos relacionados con dichos materiales o instalaciones, medidas de respuesta a dichos actos, y, las relativas a las salvaguardias.
 23. Colaborar y asistir a las autoridades competentes en la elaboración y mantenimiento de la amenaza nacional base de riesgo y/o evaluación nacional de amenaza en coordinación del Ministerio de Defensa, Ministerio del Interior y del Ministerio de Justicia o las entidades que hagan sus veces, para definir, con base en ella, los requisitos en materia de seguridad física.
 24. Ejercer como Oficial Nacional de Enlace de la República de Colombia ante el OIEA para la implementación de los acuerdos de salvaguardias suscritos entre el Estado Colombiano y el OIEA, así como los demás acuerdos internacionales ratificados por el Estado Colombiano en materia nuclear, bajo los auspicios del OIEA, y, realizar los aportes financieros al fondo de cooperación técnica de este organismo, los cuales se incluirán como parte del presupuesto de anual de la Agencia Nacional de Seguridad Nuclear (ANSN).
 25. Cooperar con el OIEA en la aplicación de salvaguardias de conformidad con el Acuerdo de Salvaguardias y cualquiera de sus protocolos siempre que este concertado entre el Estado Colombiano y el OIEA; en particular facilitar la ejecución por parte del OIEA de inspecciones y visitas, la realización de actividades de acceso complementario, así como proporcionar cualquier asistencia o información a los inspectores designados por el OIEA que realicen labores de inspección en el marco de sus funciones.
 26. Crear e implementar programas en torno a una cultura de seguridad física y seguridad tecnológica robusta en todas las instalaciones, actividades y prácticas en donde se manejen materiales nucleares y otros materiales radiactivos.
 27. Establecer los requerimientos técnicos en la reglamentación sobre la prevención y respuesta ante incidentes y accidentes nucleares, en las instalaciones, actividades y prácticas autorizadas.
 28. Establecer los requisitos, a través de reglamentos en materia de seguridad tecnológica y seguridad física para la protección de las personas y del ambiente frente a los riesgos radiológicos de las actividades de gestión de desechos radiactivos y del combustible gastado.
 29. Llevar a cabo las demás funciones que considere necesarias para la protección de las personas, el público y el ambiente en contra de los riesgos radiológicos de las radiaciones ionizantes en donde Colombia ejerza jurisdicción.
- Artículo 11. Órganos de Dirección y Administración.** La Dirección y administración de la ANSN, estarán a cargo de un Consejo Directivo y de un Director General, quien tendrá la representación legal de la misma y contará con una dirección técnica y una dirección administrativa. El Consejo Directivo actuará como instancia máxima para orientar las acciones de la ANSN y hacer seguimiento al cumplimiento de sus fines.
- Artículo 12. Integración del Consejo Directivo.** El Consejo Directivo de la ANSN, encabezado por su Director General, estará integrado por cuatro miembros, así:
1. El Presidente de la República o a quien designe.
 2. El Ministro de Ciencia, Tecnología e Innovación o su delegado.
 3. El Director del Departamento Nacional de Planeación o su delegado.
 4. El Ministro de Hacienda y Crédito Público o su delegado.
- Parágrafo.** El Consejo Directivo podrá crear grupos de trabajo ad hoc que aborden asuntos científicos y técnicos integrados por representantes de otras entidades públicas o privadas, representantes de organismos y gremios del sector privado nacional o internacional, asesores y expertos de la industria y de la academia, que podrá emitir recomendaciones no vinculantes y participar con derecho a voz, pero sin voto en las reuniones del Consejo Directivo.

Artículo 13. Funciones del Consejo Directivo.

Son funciones del Consejo Directivo:

1. Formular la política general de la ANSN, su estructura, los planes y programas que deben proponerse para su incorporación a los planes sectoriales y a través de estos al Plan Nacional de Desarrollo, incluyendo la política en equidad de género en el funcionamiento interno de la entidad.
2. Aprobar los manuales de contratación misional de la ANSN.
3. Someter a consideración del Gobierno nacional las modificaciones a la estructura orgánica y a la planta de personal de la ANSN que consideren pertinentes.
4. Aprobar el anteproyecto de presupuesto anual y las modificaciones al presupuesto de la ANSN.
5. Adoptar el reglamento de funcionamiento del Consejo Directivo, incluyendo la creación de los grupos de trabajo ad oc.
6. Ejercer las demás funciones que se le asignen.

Artículo 14. Dirección. La administración de la ANSN está a cargo de un Director General, que ejercerá sus funciones por un periodo de cuatro (4) años desde la fecha de su designación con posibilidad de renovación, quien tendrá la calidad de empleado público de libre nombramiento y remoción del Presidente de la República, únicamente por causas graves.

Artículo 15. Funciones del Director General.

Son funciones del Director General de la ANSN las siguientes:

1. Dirigir, orientar, coordinar, evaluar, vigilar y supervisar el desarrollo de la ANSN, así como ejercer sus funciones e implementar sus responsabilidades, incluyendo la de otorgar, modificar, renovar, suspender, cancelar, evaluar o revocar autorizaciones para las Instalaciones, Actividades o Prácticas reguladas por esta ley.
2. Dirigir las actividades administrativas, financieras y presupuestales requeridas para el funcionamiento de la ANSN.
3. Ejercer la representación legal de la ANSN.
4. Ejercer la facultad nominadora del personal de la ANSN, con excepción de lo que corresponda a otra autoridad.
5. Dirigir y promover la formulación de los planes, programas y proyectos relacionados con el cumplimiento de las funciones de la ANSN.
6. Adoptar las reglas y directrices internas necesarias para el funcionamiento y prestación de los servicios de la ANSN, de conformidad con las leyes y reglamentos vigentes.

7. Preparar y presentar para aprobación al Consejo Directivo el anteproyecto de presupuesto de la ANSN y las modificaciones al presupuesto aprobado, con sujeción a las normas sobre la materia.
8. Distribuir los empleos de la planta de personal de la ANSN de acuerdo con la organización interna y las necesidades del servicio.
9. Asignar entre las diferentes dependencias de la ANSN las funciones y competencias que la ley le otorgue a la entidad, cuando las mismas no estén asignadas expresamente a una de ellas.
10. Crear y organizar con carácter permanente o transitorio comités y grupos internos de trabajo con el fin de dar cumplimiento a las funciones y responsabilidades asignadas a la ANSN en la presente ley.
11. Ordenar los gastos y celebrar los contratos de la ANSN que se requieran para el cumplimiento de sus funciones.
12. Presentar al Consejo Directivo, con la periodicidad que éste determine, los informes sobre el cumplimiento de las funciones a cargo de la ANSN y las propuestas para el mejor desempeño de estas.
13. Convocar al Consejo Directivo y asistir a sus reuniones ordinarias y extraordinarias.
14. Implementar, mantener y mejorar el sistema integrado de gestión institucional de la ANSN.
15. Ejercer la función de control interno disciplinario en los términos de la ley.
16. Ejercer como enlace oficial de la República de Colombia ante el OIEA en las áreas de su competencia, incluyendo la implementación de los acuerdos de salvaguardias suscritos entre el Estado Colombiano y el OIEA.
17. Actuar como punto de contacto en relación con los acuerdos internacionales ratificados por el Estado Colombiano en materia nuclear.
18. Las demás que se le asignen de conformidad con lo establecido en la ley.

Artículo 16. Recursos y patrimonio. Se proporcionarán a la ANSN suficientes recursos financieros y humanos, con cargo al presupuesto nacional, para cumplir las funciones y responsabilidades que le incumben en virtud de la presente ley y de los reglamentos aplicables.

Los recursos y el patrimonio de la ANSN estarán constituidos por:

1. Los recursos del Presupuesto General de la Nación que se le asignen.
2. Los recursos de crédito que contrate el Gobierno nacional para financiar el cumplimiento del objetivo de la ANSN.
3. Los aportes de cualquier clase provenientes de recursos de Cooperación Internacional

para el cumplimiento del objetivo de la ANSN, sin comprometer su independencia.

4. Los bienes, derechos y recursos que la Nación y las entidades descentralizadas territorialmente o por servicios, de cualquier orden, que le transfieran a la ANSN a cualquier título.
5. Los bienes muebles e inmuebles, así como acciones o títulos representativos de capital de sociedades o activos de la Nación, que le transfieran las entidades del sector y demás instituciones públicas.
6. Las propiedades y demás activos que adquiera con recursos propios a cualquier título.
7. El valor de la contribución de valorización de los proyectos a su cargo. Los recaudos que provengan de la ejecución de los proyectos de inversión a su cargo.
8. Los ingresos propios y los rendimientos producto de la administración de los mismos.
9. Los ingresos que obtenga por concepto de desarrollo de sus servicios de asesoría, prestación de servicios técnicos y científicos.
10. Los ingresos que obtenga por concepto las tarifas de todos los servicios de autorización y control para la gestión de las instalaciones nucleares y radiactivas en el país.
11. Los demás que reciba en desarrollo de su objeto.

Artículo 17. *Adopción de la Estructura y de la Planta de Personal de la ANSN.* El Gobierno nacional, procederá a adoptar la estructura organizacional interna y la planta de personal de la ANSN, dentro de los seis (6) meses siguientes a partir de la promulgación de la presente ley.

CAPÍTULO III.

Autorizaciones

Artículo 18. *Instalaciones, actividades y prácticas sujetas a autorización.* Ninguna persona natural o jurídica, nacional o extranjera, podrá realizar una actividad, práctica o explotar una instalación, sin una autorización previa otorgada por la ANSN, a no ser que dicha actividad, práctica y/o instalación haya quedado exenta de control regulatorio, conforme a lo determinado por la ANSN en la reglamentación correspondiente. Obtenida la autorización, la persona con titularidad de la autorización es el responsable primordial por la Seguridad Tecnológica, la Seguridad Física y las Salvaguardias, así como de garantizar el cumplimiento de esta ley y de todos los requisitos reglamentarios y condiciones aplicables previstos en la autorización relacionados con esa Instalación, Actividad o Práctica.

La explotación de una Instalación, o el llevar a cabo una Actividad, o Práctica sin la correspondiente autorización otorgada por la ANSN conllevará la toma inmediata por parte de la ANSN de la misma,

sin perjuicio de la responsabilidad administrativa que la ANSN pueda determinar, y de la responsabilidad penal que recaiga sobre las personas naturales y jurídicas que hayan participado en la misma.

Artículo 19. *Notificación.* Toda persona natural o jurídica, nacional o extranjera con intención de explotar una Instalación o llevar a cabo una Actividad o Práctica sujeta al ámbito de aplicación de la presente ley, deberá presentar una notificación a la ANSN, conforme al procedimiento y los requisitos establecidos en reglamentación expedida por la ANSN.

Artículo 20. *De la autorización.* La ANSN de acuerdo a la reglamentación que expida, podrá conceder, prorrogar o renovar, una autorización de acuerdo a un enfoque graduado de control, previo cumplimiento de las condiciones para su obtención, y de haber adelantado las evaluaciones, e inspecciones correspondientes cuando así lo considere necesario.

Asimismo, la ANSN podrá, mediante decisión fundada, en cualquier momento, revocar, suspender, cancelar o modificar una autorización otorgada, si se infringen las disposiciones de esta ley, o de sus reglamentos o de las condiciones de la autorización, si ya no se cumplen las condiciones que justificaron su otorgamiento, o en cualquier circunstancia donde se determine que la continuación de las actividades objeto de la autorización supondría un riesgo radiológico inaceptable para las personas o el ambiente.

La ANSN establecerá los procedimientos y requisitos para la concesión, suspensión, modificación, renovación, prórroga, revocación y cancelación de las autorizaciones, a través de los reglamentos correspondientes. Los procedimientos y requisitos incluirán aquellos correspondientes a las áreas de la Seguridad, la Seguridad Física y las Salvaguardias.

Artículo 21. *Planes sobre seguridad física y tecnológica.* La ANSN no concederá ninguna autorización salvo, y hasta que, el solicitante haya elaborado y presentado ante la ANSN, como parte de su solicitud, un plan adecuado para la Seguridad Tecnológica Seguridad, incluyendo de preparación y respuesta en casos de Emergencia Nuclear o Radiológica, así como un plan adecuado para la Seguridad Física.

Parágrafo. Los planes de Seguridad Tecnológica y Seguridad Física y de Emergencia, deberán ser revisados, actualizados y ensayados periódicamente.

Artículo 22. *Validez de las autorizaciones.* Las autorizaciones otorgadas por la ANSN para el desarrollo de cualquier Instalación, Actividad, o Práctica, tendrán el carácter de intransferibles. Una autorización dejará de ser válida cuando haya expirado cualquier plazo establecido por reglamento o condición de la autorización a la cual fue concedida.

Artículo 23. *Modificación de las autorizaciones.* A solicitud del autorizado y antes del vencimiento de la autorización, la ANSN podrá modificar la autorización otorgada, siempre y cuando dicha

solicitud de modificación no recaiga en un cambio en el personal, el material, o el lugar autorizado. En estos tres casos, se requerirá la expedición de una nueva autorización.

Artículo 24. Personal autorizado. Las Actividades, Prácticas e Instalaciones deberán contar con la cantidad requerida de personal autorizado por la ANSN debidamente capacitado para trabajar en ellas, que conforme al reglamento respectivo y a las condiciones de emisión de la autorización se hayan determinado como necesarias para que desempeñen sus responsabilidades en el área correspondiente.

CAPÍTULO IV.

Inspección y Vigilancia

Artículo 25. Inspección y Vigilancia. La ANSN podrá solicitar, confirmar y analizar, en la forma, detalle y términos que ella determine, la información que requiera sobre la situación jurídica, económica, administrativa, operativa y técnica de toda persona natural o jurídica, nacional o extranjera, que realice una actividad, práctica y/o explotación de una instalación; así como deberá velar de forma permanente para que dichas personas en su formación, funcionamiento y desarrollo de su objeto social se ajusten a la ley y a los reglamentación.

Artículo 26. Inspectores/Inspectoras. La ANSN designará a los inspectores quienes llevarán a cabo las inspecciones, los cuales deberán contar con la debida cualificación y capacitación, de conformidad con la reglamentación expedida por la ANSN, y les extenderá las credenciales pertinentes en las que conste su calidad. La ANSN deberá garantizar que quienes ejecuten las inspecciones cuenten con los recursos humanos, técnicos y financieros suficientes para estar debidamente capacitados y actualizados, y poder adelantar sus funciones y desplazamientos, de acuerdo con los reglamentos expedidos por la ANSN.

Parágrafo. La ANSN establecerá un programa de inspección para evaluar y corroborar el cumplimiento de las disposiciones de la presente ley, o de cualquier reglamento aplicable y de las condiciones de las autorizaciones que conceda en ejercicio de sus facultades en lo referente a las obligaciones de los autorizados. La forma, extensión y frecuencia de las inspecciones deberán estar de acuerdo con un enfoque graduado de control.

Artículo 27. Ejecución de las inspecciones. La ANSN estará facultada para realizar inspecciones, supervisar y evaluar las instalaciones, actividades y prácticas, así como llevar a cabo otros exámenes que puedan considerar necesarios para verificar el cumplimiento de las disposiciones de la presente ley, los reglamentos y todas las condiciones aplicables de las autorizaciones. Estas inspecciones, podrán ser anunciadas o no anunciadas de acuerdo con el reglamento que la ANSN expida para tal fin.

Los inspectores de la ANSN tendrán acceso en cualquier momento a cualquier instalación o lugar en donde se realicen actividades o prácticas, sin necesidad de preaviso, con el fin de:

1. Obtener y recolectar información sobre el estado de la seguridad radiológica tecnológica y seguridad física y las salvaguardias.
2. Verificar el cumplimiento de las disposiciones de la presente ley, los reglamentos aplicables y las condiciones de las autorizaciones.
3. Investigar todo incidente o accidente relacionado con instalaciones, actividades y prácticas, así como con cualquier otro material nuclear, radiactivo y/o fuentes.
4. Interrogar a toda persona cuyas funciones, en opinión de los inspectores, puedan guardar relación con la inspección que se lleve a cabo, además del Titular de la autorización.
5. Adelantar cualquier otra diligencia que consideren pertinente.

Artículo 28. Resultados de la Inspección. Los inspectores e inspectoras de la ANSN deberán documentar y registrar los resultados de las inspecciones, los cuales se pondrán a disposición de quienes tengan la titularidad de la autorización, así como de otras entidades con derecho a tener acceso a dicha información, como base para aplicar medidas correctivas o acciones coercitivas en los casos donde sea pertinente.

Artículo 29. Asistencia. Es obligación de toda persona con titularidad de una autorización, el proporcionar a la ANSN, y a sus inspectores, todo el apoyo necesario para que los inspectores lleven a cabo sus labores de inspección, sin dilaciones, así como toda la asistencia que la ANSN o sus inspectores en el desempeño de sus funciones les soliciten y en cumplimiento de la ley, así como de la regulación aplicable, o las condiciones de la autorización y otros términos que defina la ANSN.

El incumplimiento de dicha asistencia podrá ser objeto de sanción por parte de la ANSN, conforme a lo dispuesto en esta ley.

Parágrafo. Evaluación. Cada Titular de una autorización deberá realizar evaluaciones periódicas de confiabilidad de la Seguridad Tecnológica y Seguridad Física de las Instalaciones, Actividades o Prácticas a su cargo, utilizando un enfoque graduado y, según corresponda, en línea con la categorización de los materiales nucleares y las fuentes radiactivas, establecida por la ANSN. Dichas evaluaciones periódicas deberán incluir las Salvaguardias, de así determinarlo la ANSN.

CAPÍTULO V.

Del control

Artículo 30. Del control reglamentario. Cuando se determine por la ANSN, que una persona con titularidad de la autorización, o sin ella, incumpla o viole la presente ley, los reglamentos aplicables o las condiciones de la autorización, según corresponda, la ANSN adoptará las medidas preventivas, cautelares, correctivas y sancionatorias que considere pertinentes y necesarias en los términos definidos en esta ley y reglamentados por la ANSN en los reglamentos correspondientes.

Artículo 31. Proceso administrativo sancionatorio. La ANSN en ejercicio de su función de control podrá adelantar un proceso administrativo sancionatorio en los casos que evidencie una presunta infracción o violación al régimen legal y regulatorio nuclear, constituido por la presente ley, sus reglamentos, así como las decisiones emitidas por la ANSN en el ámbito de su competencia. La apertura del proceso se hará cuando exista cualquier indicio o evidencia de una presunta infracción. Para ello se seguirán las siguientes reglas:

1. Las actuaciones administrativas bajo el régimen legal y regulatorio nuclear podrán iniciarse de oficio o por solicitud de un tercero.
2. Sí, como resultado de la información obtenida a través de las funciones de inspección y vigilancia, o de la información allegada por un tercero, la ANSN establece que existen méritos para adelantar un procedimiento administrativo sancionatorio, formulará pliego de cargos mediante acto administrativo en el que señalará, con precisión y claridad, los hechos que lo originan, las personas naturales o jurídicas objeto de la investigación, las disposiciones presuntamente vulneradas y las sanciones o medidas que serían procedentes. Este acto administrativo deberá ser notificado personalmente a los investigados. Contra esta decisión no procede recurso.
3. Los investigados podrán, dentro de los quince (15) días siguientes a la notificación de la formulación de cargos, presentar los descargos y solicitar o aportar las pruebas que pretendan hacer valer ante la ANSN.
4. Dentro de los cinco (5) días siguientes a la presentación de descargos, la ANSN deberá, mediante acto administrativo, dar apertura a un único periodo probatorio, no prorrogable, de máximo 60 días calendario.
5. Durante dicho periodo la ANSN deberá pronunciarse sobre la solicitud de pruebas realizada por el investigado, decretar su incorporación o practicarlas según corresponda, y rechazar de manera motivada, las inconducentes, impertinentes o superfluas y aquellas practicadas ilegalmente. Así mismo, deberá decretar, incorporar y practicar las pruebas que considere conducentes, pertinentes y útiles para esclarecer los hechos objeto de investigación.
6. Dentro de los cinco (5) días siguientes al vencimiento de los 60 días calendario del periodo probatorio, o antes, si así lo determina la ANSN, mediante acto administrativo se dará cierre a la etapa probatoria, se hará una relación de todas las pruebas que hacen parte del expediente, y se dará traslado al investigado por diez (10) días para que presente los alegatos respectivos.
7. El funcionario competente de la ANSN proferirá el acto administrativo definitivo dentro de los treinta (30) días siguientes a la presentación de los alegatos.
8. El acto administrativo que ponga fin al procedimiento administrativo de carácter sancionatorio deberá contener:
 - a. La individualización de la persona natural o jurídica a sancionar.
 - b. El análisis de hechos y pruebas con base en los cuales se impone la sanción.
 - c. Las normas infringidas con los hechos probados.
 - d. La decisión final de archivo o sanción y la correspondiente fundamentación.
9. Contra los actos definitivos procederán los siguientes recursos, en el efecto devolutivo:
 - a. El de reposición, ante quien expidió la decisión para que la aclare, modifique, adicione o revoque.
 - b. El de apelación, ante el inmediato superior administrativo o funcional con el mismo propósito.
 - c. El de queja cuando se rechace el de apelación.
10. Los recursos de reposición y apelación deberán interponerse por escrito en la diligencia de notificación personal, o dentro de los diez (10) días siguientes a ella, o a la notificación por aviso, o al vencimiento del término de publicación, según el caso.
11. Los recursos se presentarán ante el funcionario o funcionaria que dictó la decisión,
12. El recurso de apelación podrá interponerse directamente, o como subsidiario del de reposición y cuando proceda será obligatorio para acceder a la jurisdicción.
13. Los recursos de reposición y queja no son obligatorios.
14. En lo no previsto en esta ley se seguirá lo dispuesto en las Leyes 1437 de 2011 y 1564 de 2012 o aquellas que las modifiquen o sustituyan en lo que corresponda.

Artículo 32. Medidas sancionatorias. La ANSN podrá imponer, mediante acto administrativo, alguna o algunas de las siguientes sanciones, según la gravedad del hecho y la potencialidad de riesgo al que se sometió la fuente o material nuclear o radiactivo generado por la Actividad, Práctica o Instalación:

1. Amonestación.
2. Multas hasta por una suma equivalente a 50.000 salarios mínimos legales mensuales vigentes.
3. Suspensión, modificación o cancelación de la autorización.

4. Cierre temporal o definitivo del emplazamiento, establecimiento, edificación o sitio respectivo de la instalación, o donde se adelanta la actividad o práctica.
5. Incautación o decomiso de fuentes, materiales radiactivos, nucleares y equipos generadores de radiación ionizante.
6. Suspensión de la venta o utilización de fuentes radiactivas, material nuclear o radiactivo o equipos generadores de radiación ionizante.
7. Orden de cese inmediato del desarrollo de una instalación, actividad o práctica.
8. Orden de que los materiales nucleares o radiactivos procedentes de una instalación, actividad o práctica que haya sido suspendida se almacenen en condiciones de seguridad tecnológica y seguridad física.

Artículo 33. Aspectos relacionados con las medidas sancionatorias. A efectos de la imposición y ejecución de las medidas sancionatorias, se deberá tener en cuenta lo siguiente:

1. Cuando un infractor no proporcione información completa y oportuna para que la ANSN ejerza sus funciones, su comportamiento se considerará como un agravante de la conducta que se investiga.
2. La reincidencia en la imposición de una medida sancionatoria, cualquiera que ella sea, al sujeto investigado en la comisión de cualquier infracción, será considerada como un agravante de la conducta que se investiga.
3. Si la infracción se cometió durante varios años, el monto máximo de las multas que se indica en el artículo 31 se podrá multiplicar por el número de años durante los cuales ocurrió la infracción.
4. El pago de la multa no exime al infractor de la corrección de las acciones que llevaron a la toma de las medidas que hayan sido ordenadas por la ANSN, ni de la ejecución de la obra, obras o medidas de carácter sancionatorio que hayan sido ordenadas por la misma agencia.
5. Las multas ingresarán al patrimonio de la Nación, para la atención de programas de educación a la población civil en materia nuclear.
6. Las empresas a las que se multe podrán repetir contra aquellas personas que hubieran realizado los actos u omisiones que dieron lugar a la sanción. La repetición será obligatoria cuando se trate de servidores públicos, de conformidad con el artículo 90 de la Constitución.
7. En caso de que la ANSN disponga la incautación o cierre de conformidad a los numerales 4) y 5) del artículo 32, la persona con titularidad de la autorización deberá cubrir los costos correspondientes

al mantenimiento, almacenamiento, gestión segura u otras medidas necesarias para mantener la Seguridad Tecnológica y la Seguridad Física de estos materiales o instalaciones.

8. La persona con titularidad de la autorización será responsable del material nuclear o radiactivo, aún y cuando la autorización haya sido suspendida, revocada, cancelada o modificada o estuviese vencida, mientras que dicha responsabilidad no haya sido delegada expresamente a otro o asumida expresamente por otro titular debidamente autorizado por la ANSN.

Artículo 34. Medidas preventivas, cautelares o correctivas. Las medidas a que se refieren los numerales 3 a 8 del artículo 32 podrán aplicarse como medidas preventivas, cautelares o correctivas, de inmediata ejecución y hasta por 3 meses, prorrogables por otros 3 meses, cuando se advierta un potencial riesgo a las personas o el ambiente, y se aplicarán sin perjuicio de las sanciones a que haya lugar y que se definan una vez surtido el correspondiente proceso administrativo sancionatorio.

Parágrafo. *Contra dichas medidas no procede ningún recurso.* Será obligación de la ANSN iniciar la actuación administrativa correspondiente, dentro de los 10 días calendario siguientes al día en que se tomó la medida preventiva, cautelar o correctiva, así como poner en conocimiento de dicha situación a la Fiscalía General de la Nación, para que esta adelante las actuaciones penales que correspondan, sin perjuicio de la competencia de otras autoridades.

CAPÍTULO VI.

Protección radiológica

Artículo 35. Principios Fundamentales de la Protección Radiológica. Los siguientes principios fundamentales de protección radiológica se aplicarán a todas las Instalaciones, Actividades y Prácticas, reguladas por la presente ley que se realicen en Colombia:

1. **Justificación de las instalaciones, actividades y prácticas.** La ANSN autorizará las instalaciones, actividades y prácticas siempre que éstas garanticen a las personas expuestas o a la sociedad un beneficio suficiente para compensar el daño que puedan causar con el uso de tecnologías nucleares y/o radiaciones ionizantes, teniendo en cuenta los factores sociales, económicos, ambientales y de otra índole pertinentes.

2. **Optimización de la protección.** La ANSN, otras autoridades competentes y otras partes responsables de las medidas de protección radiológica garantizarán la optimización de la forma, el alcance y la duración de esas medidas, de manera tal que la exposición a la radiación ionizante y el número de personas expuestas sean tan bajos como sea razonablemente alcanzables, teniendo en cuenta los factores económicos ambientales y sociales y de otra índole pertinentes.

3. Limitación de los riesgos para las personas. Las instalaciones, actividades y prácticas deberán llevarse a cabo de forma que se garantice que la dosis total que una persona pueda recibir no supere el límite de dosis establecido por la ANSN, de modo que ninguna persona se vea expuesta a un riesgo inaceptable debido a la radiación.

Artículo 36. Requisitos y responsabilidades en materia de protección radiológica. La ANSN reglamentará los requisitos y responsabilidades que en materia de protección radiológica para las exposiciones ocupacionales, médicas y públicas, que deban cumplir las personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras titulares de autorización o aquellas interesadas en obtener una autorización para la explotación de una Instalación, Actividad, o Práctica.

Parágrafo primero. La reglamentación abarcará los requisitos relativos a las categorías de exposición ocupacional, exposición médica y exposición al público, así como las Situaciones de Exposición.

Parágrafo segundo. La ANSN, reglamentará las responsabilidades que, en materia de protección radiológica para las exposiciones ocupacionales, médicas y públicas deban cumplir las personas titulares de una autorización, así como otras partes responsables en esta materia.

Artículo 37. Protección Radiológica en el Sistema de Seguridad y Salud en el Trabajo. La ANSN en conjunto con el Ministerio de Trabajo, el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, el Ministerio de Salud y Protección Social, y las autoridades competentes o quien haga sus veces, reglamentará las medidas necesarias de protección radiológica a incluir en el sistema de seguridad y salud en el trabajo que sean aplicables a los trabajadores ocupacionalmente expuestos.

Parágrafo primero. Los estudiantes, aprendices o practicantes que estén expuestos a radiaciones ionizantes serán sujetos del sistema general de riesgos laborales que le sea aplicable conforme a la reglamentación que se expida en materia de protección radiológica en el marco del sistema de seguridad y salud en el trabajo.

Parágrafo segundo. Los empleadores o titulares de autorización cuyos trabajadores estén expuestos a radiaciones ionizantes, deben implementar acciones de promoción de la política de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) y la prevención de los riesgos laborales, con el fin de evitar accidentes de trabajo y enfermedades laborales por dicha exposición.

Artículo 38. Protección radiológica en mujeres. La trabajadora que sospecha que está en estado de embarazo, que está embarazada, o que está en periodo de lactancia, y que se encuentre realizando labores con radiaciones ionizantes, debe notificar al empleador de su situación, de manera oportuna. Esta notificación no se considerará razón para excluirla de su vínculo laboral, por lo que se propenderá por su reubicación.

El empleador que haya sido notificado de las situaciones mencionadas en el inciso anterior, deberá adaptar las condiciones de trabajo de la trabajadora con relación a la exposición ocupacional a fin de asegurar que se da al embrión, o al feto, o al lactante, el mismo grado amplio de protección que se requiere para los miembros del público, conforme a los límites de dosis establecidos por la ANSN.

Artículo 39. Protección del Paciente. El titular autorizado por la ANSN para llevar a cabo prácticas médicas, será responsable de asegurar que a ningún paciente se le administre una exposición de diagnóstico o terapéutica a menos que la misma esté prescrita por un médico capacitado en protección radiológica que sea responsable de la tarea y tenga la obligación primordial de garantizar la protección radiológica y la seguridad del paciente en la prescripción de la exposición médica y durante su ejecución.

Los médicos con responsabilidades en materia de exposición médica tendrán la obligación de informar a los pacientes sobre los riesgos y beneficios de la radiación, en particular para pacientes embarazadas o en periodo de lactancia o pacientes pediátricos.

Parágrafo primero. Los límites de dosis establecidos por la ANSN no se aplican a las exposiciones médicas. La ANSN publicará niveles de orientación para la exposición médica en conjunto con el Ministerio de Salud.

Artículo 40. Protección del Público. La ANSN aprobará los límites operativos y condiciones relacionadas con la exposición del público, incluidos los límites autorizados para las descargas.

Los titulares autorizados tendrán la obligación de aplicar los límites operativos y condiciones relacionadas con la exposición del público, establecidas por la ANSN, incluyendo los límites autorizados para las descargas.

La ANSN establecerá las responsabilidades correspondientes a los titulares de licencias, proveedores y proveedores de productos de consumo en relación con la aplicación de requisitos para la exposición pública en coordinación con el Ministerio de Salud y Protección Social, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial.

CAPÍTULO VII.

Disposiciones relativas a las fuentes de radiación

Artículo 41. Control Regulatorio de las Fuentes de Radiación. La ANSN establecerá un sistema de control de las fuentes de radiación para garantizar que se utilicen, gestionen y protejan en condiciones de seguridad tecnológica y seguridad física durante toda su vida útil y al final de esta.

Sobre la base de directrices reconocidas internacionalmente, la ANSN establecerá y mantendrá una clasificación de las fuentes de radiación en función de los riesgos a las personas y al ambiente en caso de que esas fuentes no se

utilicen, gestionen y protejan en condiciones de seguridad tecnológica y seguridad física.

Artículo 42. Registro Nacional de Fuentes de Radiación. La ANSN establecerá y mantendrá un registro nacional de fuentes de radiación, determinará las categorías de estas que deben figurar en el mismo, y adoptará medidas para proteger la información contenida en el registro nacional a fin de garantizar la seguridad tecnológica y seguridad física de esas fuentes.

El titular autorizado mantendrá un inventario que incluya registros como mínimo de:

1. El lugar y la descripción de cada fuente de radiación de los que sea responsable.
2. La actividad y forma de cada Fuente de Radiación de la que sea responsable.
3. El personal con responsabilidades en los ámbitos de la seguridad tecnológica y seguridad física, según corresponda, de las fuentes de radiación.
4. Incidentes o accidentes con el uso de las fuentes de radiación.
5. Cualquier otra información que requiera la ANSN.

Artículo 43. Exportación e Importación de Fuentes de Radiación. La ANSN, el Ministerio de Comercio Industria y Turismo, y la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales o las entidades que hagan sus veces, establecerán los requisitos y procedimientos relativos a la autorización para la exportación, la importación y el tránsito de fuentes de radiación, que se efectúen desde o hacia Colombia o a través de este.

Los procedimientos establecidos abarcarán el requisito de que previa a una exportación, se lleve a cabo una evaluación de la información necesaria para cerciorarse de que, en el caso de fuentes radiactivas, el destinatario de la fuente radiactiva cuente con autorización de la autoridad competente en el Estado correspondiente a recibir la fuente solicitada y tenga capacidad para garantizar su seguridad tecnológica y seguridad física.

En cuanto a las solicitudes de exportación de fuentes selladas categoría I y II, la ANSN y el Ministerio de Comercio Industria y Turismo se cerciorarán, en la medida de lo posible, de que el Estado importador posea la capacidad técnica y administrativa, los recursos y la estructura reglamentaria que se requieran para la gestión de las fuentes objeto de la solicitud en condiciones de seguridad tecnológica y seguridad física.

Artículo 44. Recuperación de Fuentes Huérfanas. La persona con titularidad de la autorización deberá comunicar a la ANSN, máximo en 24 horas la pérdida de control de cualquier fuente radiactiva, así como cualquier situación o incidente de otro tipo relacionados con una fuente radiactiva que pueda suponer un riesgo importante de lesiones radiológicas para las personas o daños sustanciales para los bienes o el ambiente.

La ANSN, coordinará la participación de las entidades pertinentes para la formulación de una estrategia nacional para recuperar el control de las fuentes huérfanas. La estrategia nacional será aprobada por la ANSN.

CAPÍTULO VIII.

Seguridad tecnológica de las instalaciones nucleares y de su clausura

Artículo 45. Regulación de los Reactores Nucleares y otras instalaciones nucleares. La ANSN establecerá los requisitos necesarios para el control reglamentario en materia de Seguridad Tecnológica y de la autorización de los reactores nucleares, de otras instalaciones nucleares y actividades conexas, para las diferentes etapas de las instalaciones nucleares que incluyen: la selección, diseño, operación, mantenimiento, cierre y clausura. Dichos requisitos incluirán la evaluación de la Seguridad Tecnológica (incluyendo planes de preparación y respuesta para emergencias nucleares y radiológicas) y de la Seguridad Física; disponer de recursos financieros y humanos necesarios para la explotación de la instalación nuclear; planes para la gestión, calificación y cualificación de personal, demostrar conocimiento de los Principios de Protección Radiológica, planes para la conservación y mantenimiento técnico de equipo esencial de la Instalación Nuclear, así como planes iniciales para la clausura de la Instalación Nuclear, y su financiamiento, y para la gestión segura del combustible gastado y los desechos radiactivos.

Artículo 46. Información al Público. La ANSN establecerá procedimientos para la información, consulta y socialización del público, incluidas las personas que residan cerca del emplazamiento donde se prevea construir una instalación nuclear, en las etapas adecuadas durante los procesos de examen, evaluación y de autorización.

Artículo 47. Parada prolongada de instalaciones nucleares. En su carácter de solicitante la entidad o persona explotadora, elaborará un programa basado en los criterios establecidos por la ANSN para la conservación técnica de la instalación nuclear, que se someta a un régimen de parada prolongada o permanezcan en ese estado.

Artículo 48. Clausura de instalaciones nucleares. La ANSN establecerá, en la reglamentación correspondiente, los requisitos relativos a la clausura de instalaciones nucleares, incluyendo los criterios relacionados con la seguridad, el ambiente y las condiciones sobre el estado final de la clausura.

La instalación nuclear no será liberada del control reglamentario por la ANSN hasta que la persona titular de autorización haya demostrado que se ha alcanzado el estado final establecido en el plan de clausura, preparado por la entidad o persona explotadora de la instalación, en su carácter de solicitante de una autorización, y aprobado por la ANSN, conforme a los reglamentos emitidos por la misma, y se han satisfecho los demás requisitos

reglamentarios establecidos por otras autoridades competentes.

Artículo 49. *Financiación de la clausura.* El solicitante de una autorización para la explotación de una instalación nuclear deberá garantizar, a satisfacción de la ANSN, que los recursos financieros adecuados estén disponibles cuando sea necesario para sufragar los gastos relacionados con la clausura en condiciones de seguridad, incluida la gestión de todos los desechos resultantes, entre ellos los desechos radioactivos. La persona con titularidad de la autorización aportará recursos financieros para sufragar los gastos relacionados con la clausura en condiciones de seguridad tecnológica y seguridad física.

Parágrafo. La ANSN deberá reglamentar lo dispuesto en este artículo y podrá contar con el apoyo y asesoramiento técnico del Ministerio de Hacienda y Crédito Público.

CAPÍTULO IX.

Seguridad física

Artículo 50. *Régimen de Seguridad Física.* El Estado Colombiano deberá establecer, aplicar, mantener y actualizar un régimen de Seguridad Física que comprenda a) el ordenamiento legislativo, reglamentario, las medidas y sistemas administrativos que rigen la seguridad física del material nuclear, otro material radiactivo, las instalaciones conexas y las actividades conexas; b) las instituciones y organizaciones del Estado Colombiano encargadas de garantizar la aplicación de los sistemas administrativos y el ordenamiento legislativo y reglamentario de seguridad física nuclear, y c) los sistemas de seguridad física nuclear, las medidas de seguridad física nuclear que tienen por objeto la prevención y detección de sucesos relacionados con la seguridad física, y la respuesta a esos sucesos.

Artículo 51. *Obligaciones y responsabilidades del Estado.* El Estado Colombiano tendrá la responsabilidad de proporcionar los recursos humanos, financieros y técnicos necesarios para el establecimiento y sostenimiento del régimen de seguridad física utilizando un enfoque basado en el conocimiento de los riesgos. La ANSN, con el apoyo del Ministerio de Defensa, el Ministerio del Interior y el Ministerio de Justicia será la encargada de verificar el cumplimiento de esta obligación.

Artículo 52. *Obligaciones de la ANSN con respecto a la Seguridad Física.* Con el objetivo de mantener un régimen de seguridad física, la ANSN generará, mantendrá y actualizará la normativa con respecto a la seguridad física, así como, coordinará las acciones necesarias para la recuperación de material nuclear y otros materiales radiactivos fuera del control regulatorio, la comunicación internacional en materia de Seguridad Física, la conclusión de acuerdos de cooperación en la materia, y el establecimiento de requisitos para la seguridad física durante el transporte nacional

e internacional de materiales nucleares y otros materiales radiactivos.

Artículo 53. *Seguridad física de materiales nucleares y otros materiales radiactivos.* La ANSN establecerá y mantendrá una clasificación en categorías de los materiales nucleares y otros materiales radiactivos, basada en una evaluación de los daños que podrían derivarse de su retirada no autorizada. Así mismo, establecerá y vigilará el cumplimiento de los requisitos y medidas para la seguridad física de las instalaciones y para las diferentes categorías de los materiales nucleares y otros materiales radiactivos teniendo en cuenta la implementación de un enfoque graduado.

Artículo 54. *Protección de la Información Sensible.* La ANSN y los titulares de autorización deberán implementar medidas para garantizar la confidencialidad y la protección y ciberseguridad de la información relacionada con la seguridad física, designada como sensible por la autoridad/las autoridades competentes, evitando que se divulgue de forma no autorizada.

CAPÍTULO X.

Emergencias radiológicas y nucleares

Artículo 55. *Plan Nacional de Emergencias Radiológicas y Nucleares.* Dentro del Plan Nacional de Emergencias Radiológicas y Nucleares, la ANSN actuará como Agencia Técnica Principal en el área de Emergencias Radiológicas y Nucleares. La Agencia Técnica Principal tendrá las funciones de coordinación y apoyo técnico, desde el instante en que se notifica una emergencia radiológica hasta que la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) y las autoridades competentes de la respuesta hayan concluido sus actividades, independientemente de si las emergencias radiológicas y/o nucleares son el resultado de accidentes, negligencias o actos deliberados.

Parágrafo. En casos de emergencia, es deber de todas las entidades públicas y privadas, apoyar de manera inmediata proporcionando información oportuna, confiable, y efectuando cuanta diligencia sea solicitada por la ANSN y las demás autoridades competentes para la contención de la misma.

Artículo 56. *Emergencias transfronterizas.* Dentro del Plan Nacional de Emergencias Radiológicas se establecerá la coordinación de respuesta de las emergencias radiológicas transfronterizas.

En caso de que se produzca una Emergencia Nuclear o Radiológica que, según lo determinado por el Estado Colombiano, entrañe riesgo de difusión de contaminación radiactiva más allá de las fronteras de Colombia, el Estado Colombiano notificará, a través de la ANSN y el Ministerio de Relaciones Exteriores, inmediatamente al OIEA, y a las autoridades pertinentes del Estado o los Estados que resulten o puedan resultar afectados físicamente por una emisión que pueda tener importancia radiológica para ese o esos Estados. Conforme a lo dispuesto en los instrumentos internacionales

pertinentes, entre ellos la Convención sobre la pronta notificación de accidentes nucleares y la Convención sobre asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica suscritos por el Estado colombiano.

CAPÍTULO XI.

Transporte de materiales radiactivos

Artículo 57. Regulación del transporte de materiales radiactivos. La ANSN y el Ministerio de Transporte o quien haga sus veces, establecerán de acuerdo a sus funciones los requisitos relativos al transporte de materiales radiactivos en el ámbito nacional, así como internacional, hacia y desde Colombia, o a bordo de un buque o de una aeronave bajo su jurisdicción. Los requisitos adoptados en aplicación del presente artículo comprenderán la clasificación de los materiales radiactivos en categorías, establecidas por la ANSN en la reglamentación correspondiente, teniendo en cuenta el posible riesgo que entrañen los tipos, las cantidades y los niveles de actividad de esos materiales.

En los reglamentos adoptados por la ANSN, en aplicación del presente artículo, se tendrán en cuenta los requisitos técnicos de la edición más reciente del Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos publicado por el OIEA, se comprenderán medidas relativas a la Seguridad física y Seguridad Tecnológica de los materiales radiactivos, durante su transporte nacional o internacional, que estén en consonancia con las convenciones en la materia de las que el Estado Colombiano es Parte, así como de los documentos de orientación más recientes publicados por el OIEA.

Artículo 58. Necesidad de autorización para transportar materiales radiactivos. Ninguna persona o entidad llevará a cabo el transporte de materiales radiactivos sin antes obtener una autorización de la ANSN y cumplir los requisitos establecidos por la reglamentación establecida por la ANSN, en concordancia con lo señalado en la presente ley, sin perjuicio de las competencias asignadas a otras autoridades. El titular de autorización para dedicarse al transporte de materiales radiactivos tendrá la responsabilidad primordial de velar por la Seguridad Tecnológica y Seguridad Física de dichos materiales durante su transporte.

Artículo 59. Transporte internacional de materiales radiactivos. Es responsabilidad del Estado Colombiano asegurar que los materiales radiactivos, incluyendo los materiales nucleares, estén adecuadamente protegidos durante el transporte internacional de esos materiales, desde o hacia Colombia, o en tránsito a través de su territorio y hasta que esa responsabilidad sea transferida adecuadamente a otro Estado, según corresponda.

CAPÍTULO XII.

Desechos radiactivos y combustible gastado

Artículo 60. Ámbito de aplicación de los desechos radiactivos y combustible gastado. La presente ley se aplicará a la gestión de los desechos radiactivos

resultantes de todas las Instalaciones, Actividades, y Prácticas en Colombia, pero no se aplicará a los que solo contengan materiales radiactivos de origen natural, salvo que la ANSN determine lo contrario. La presente ley también se aplicará a la gestión del combustible gastado resultante de la explotación de reactores nucleares en Colombia.

Artículo 61. Política y estrategia nacional de desechos radiactivos y del combustible gastado. El Estado Colombiano, a través de la ANSN, definirá una política y una estrategia nacional en materia de desechos radiactivos y combustible gastado para su ejecución a nivel nacional en coordinación de las demás autoridades competentes, incluyendo aquellas del sector ambiente.

Artículo 62. Principios generales de los desechos radiactivos y del combustible gastado. La definición de la política y estrategia nacional en materia de gestión de desechos radiactivos y la gestión del combustible gastado tendrá en cuenta los siguientes principios generales:

1. Se debe prever una protección eficaz de las personas y el ambiente contra los peligros radiológicos y de otra índole.
2. Se debe asegurar que la generación de desechos radiactivos se mantenga al nivel más bajo posible.
3. Se debe tener en cuenta la interdependencia de las distintas fases de la gestión de los desechos radiactivos y del combustible gastado.
4. Se debe prever la aplicación en Colombia de métodos adecuados de protección a nivel nacional, aprobados por las autoridades competentes, incluyendo la ANSN, en la gestión de los desechos radiactivos y del combustible gastado, que tengan debidamente en cuenta normas, orientaciones y criterios reconocidos internacionalmente, en particular a los adoptados por el OIEA.
5. Se deben abordar adecuadamente los riesgos biológicos, químicos y de otra índole que pueda conllevar la gestión de los desechos radiactivos y del combustible gastado.
6. Se debe prestar debida atención a la criticidad y a la eliminación del calor residual producido durante la gestión de los desechos radiactivos y del combustible gastado.
7. Se deben evitar las acciones cuyas repercusiones razonablemente predecibles para las generaciones futuras sean mayores que las permitidas para la generación actual.
8. Se debe evitar la imposición de cargas indebidas a las generaciones del presente y del futuro.
9. Se deben establecer mecanismos de financiación apropiados.

Artículo 63. Responsabilidad con respecto a la seguridad tecnológica y seguridad física de los

desechos radiactivos y del combustible gastado. La persona con titularidad de la autorización tendrá la responsabilidad primordial de velar por la seguridad tecnológica y seguridad física de los desechos radiactivos y del combustible gastado, durante toda su vida útil, hasta que la titularidad sea transferida, previa aprobación de la ANSN. De no haber un titular de la licencia u otra parte responsable, la responsabilidad sobre el combustible gastado o sobre los desechos radiactivos recaerá en las entidades autorizadas o designadas para tal fin en Colombia.

Artículo 64. Plan de disposición final. La persona con titularidad de la autorización con el fin de explotar una instalación de disposición final de desechos radiactivos preparará un plan de cierre preliminar de la instalación en el que se prevea la aplicación de controles institucionales activos y pasivos, de conformidad con la reglamentación expedida por la ANSN. El plan de cierre deberá actualizarse, conforme a la reglamentación establecida por la ANSN. Antes de autorizar la explotación de la instalación, la ANSN deberá aprobar dicho plan.

Artículo 65. Prohibición de importación de desechos radiactivos. Se prohíbe la importación a Colombia de desechos radiactivos para ninguna finalidad que hayan sido generados fuera de Colombia, a menos de que la ANSN determine en conjunto con otras autoridades competentes, que dicha importación es técnicamente justificable en interés de Colombia.

Artículo 66. Exportación de desechos radiactivos. Sólo se podrá exportar desechos radiactivos o combustible gastado de Colombia cuando la ANSN haya concedido la correspondiente autorización.

Para decidir si se aprueba una autorización de exportación, se aplicarán los siguientes criterios:

1. Que antes de la recepción de los desechos radiactivos o del combustible gastado el Estado importador sea notificado de su transferencia y ésta se realice con su consentimiento.
2. Que el traslado del material exportado se lleve a cabo de conformidad con las obligaciones internacionales pertinentes en todos los Estados por los que transiten.
3. Que el Estado importador posea la capacidad administrativa y técnica, así como la estructura reguladora, necesarias para la gestión de los desechos radiactivos o el combustible gastado exportados, de manera tal que se garantice su Seguridad Tecnológica y Seguridad Física, en consonancia con esta, sus reglamentos, así como con las normas pertinentes reconocidas internacionalmente, en particular las promulgadas por el OIEA.

Parágrafo. En caso de que una exportación autorizada de desechos radiactivos o de combustible gastado no pueda completarse de conformidad con el presente artículo, dichos desechos se mantendrán en Colombia, salvo que sea posible adoptar otras disposiciones que ofrezcan condiciones de Seguridad Tecnológica y Seguridad Física.

CAPÍTULO XIII.

Responsabilidad nuclear y protección frente a daños nucleares

Artículo 67. Responsabilidad del explotador. En concordancia a lo dispuesto en la presente ley, el explotador o persona con titularidad de autorización de una instalación nuclear será exclusivamente responsable de los daños nucleares que se produzcan, previa prueba de que esos daños han sido causados por un incidente nuclear en la instalación nuclear de la entidad o persona explotadora.

La responsabilidad por los daños nucleares ocasionados por materiales nucleares sustraídos extraviados o abandonados incumbe a la entidad o persona explotadora con titularidad de la autorización más reciente para poseer esos materiales. La responsabilidad por daños nucleares se aplicará a dichos daños dondequiera que se produzcan.

Artículo 68. Responsabilidad civil durante el transporte. En caso de transporte de materiales nucleares, la entidad o persona explotadora remitente será responsable de los daños nucleares hasta que la entidad o persona explotadora receptor se haya hecho cargo de los materiales de que se trate, a menos que la entidad o persona explotadora remitente y el receptor hayan convenido por escrito trasladar la responsabilidad a otra fase del transporte o al transportista de los materiales a solicitud de éste. En este último caso, el transportista será considerado la entidad o persona explotadora responsable de conformidad con ley.

Artículo 69. Garantía financiera. La entidad o persona explotadora de una instalación nuclear deberá suscribir y mantener un seguro u otra garantía financiera que cubra su responsabilidad por daños nucleares. La Entidad o Persona Explotadora de una instalación nuclear presentará para la aprobación de la ANSN las condiciones de la garantía financiera exigida.

El Gobierno nacional asegurará el pago de las reclamaciones de indemnización por daños nucleares que se haya entablado contra la Entidad o Persona Explotadora, en la medida, en que el producto del seguro o de la garantía financiera del Entidad o Persona Explotadora establecida en virtud del inciso anterior no baste para satisfacer esas reclamaciones. El pago de esas reclamaciones no podrá sobrepasar en ningún caso la cuantía establecida en las convenciones sobre responsabilidad civil por daños nucleares suscritas por el Estado colombiano.

CAPÍTULO XIV.

Salvaguardias

Artículo 70. Cooperación en la aplicación de salvaguardias. Todas las autoridades y entidades de la Rama Ejecutiva del nivel Nacional y Territorial como todas las personas naturales o jurídicas, y la persona con titularidad de la autorización cooperarán plenamente con el OIEA, a través de la ANSN, en la aplicación de las medidas de salvaguardias y de la reglamentación expedida por la ANSN, entre otros medios, así:

1. Facilitando prontamente toda la información necesaria en aplicación del Acuerdo de Salvaguardias y su Protocolo Adicional s concertados entre el Estado Colombiano y el OIEA.
2. Dando acceso a los lugares conforme exijan el Acuerdo de Salvaguardias y su Protocolo Adicional.
3. Prestando apoyo a quienes realicen una inspección por parte la ANSN y del OIEA en el desempeño de sus funciones.
4. Prestando a quienes realicen una inspección por parte de la ANSN y del OIEA todos los servicios necesarios en relación con sus inspecciones.

CAPÍTULO XV.

Controles de exportación e importación

Artículo 71. Controles de exportaciones e importaciones de los materiales y equipos nucleares. La ANSN emitirá reglamentos, incluyendo un sistema de autorizaciones, para controlar la exportación e importación a Colombia de materiales nucleares, otros materiales radiactivos e Instalaciones, incluyendo fuentes de radiación, así como equipo y materiales no nucleares especificados, sin perjuicio de las competencias asignadas a otras autoridades.

Artículo 72. Prohibición de transferencias no autorizadas. Quedan prohibidas la exportación o la importación de materiales nucleares, otros materiales radiactivos e instalaciones, incluyendo Fuentes de Radiación, así como equipo y materiales no nucleares especificados, sin previa autorización de la ANSN, el Ministerio de Comercio Industria y Turismo y la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN) o las entidades que hagan sus veces, de acuerdo con la normativa.

Parágrafo. La Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN) deberá crear en un plazo no mayor a seis (6) meses un procedimiento expedito y prioritario para el trámite de las autorizaciones de importación y exportación de materiales nucleares, otros materiales radiactivos e instalaciones, incluyendo equipos generadores de radiación ionizante.

Artículo 73. Autorizaciones de exportación e importación. La ANSN emitirá reglamentos que

estipulen los detalles del proceso de autorización de las exportaciones e importaciones de materiales nucleares, otros materiales radiactivos e instalaciones, incluyendo Fuentes de Radiación, así como equipo y materiales no nucleares especificados, sujetos a control.

Entre los detalles de este proceso de autorización se incorporarán, entre otros, los siguientes: los procedimientos que habrán de seguirse para solicitar una autorización, comprendidos los plazos de examen de las solicitudes y de adopción de decisiones al respecto; una lista de los materiales y equipos nucleares para los cuales se precise autorización para la exportación e importación; requisitos de notificación previa al envío de las exportaciones, cuando se haya establecido la necesidad de esa notificación; una tabla de tasas o derechos por concesión de autorizaciones; y la obligación de llevar registros de las actividades autorizadas.

Parágrafo. La importación y exportación de cualquier equipo generador de radiación ionizante de uso humano debe ser autorizada previamente por el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (Invima), de acuerdo con la normativa que éste expida de dispositivos médicos. Por consiguiente, deberá en un plazo no mayor a seis (6) meses, a partir de la expedición de esta ley, crear un procedimiento expedito y prioritario para el trámite de las autorizaciones de dichos dispositivos médicos.

CAPÍTULO XVI.

Desarrollo de la investigación científica

Artículo 74. Desarrollo de la investigación científica. El Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación promoverá el desarrollo de la investigación, las ciencias y tecnologías nucleares, así como promoverá los usos pacíficos de las aplicaciones nucleares y difundirán los avances alcanzados para vincularlos al desarrollo económico, social, científico y tecnológicos de Colombia y aplicación de la tecnología nuclear con fines pacíficos en todos los sectores que requieran su utilización.

Así mismo deberán:

1. Realizar e impulsar las actividades que conduzcan a la innovación y el desarrollo científico y tecnológico en el campo de las ciencias y tecnologías nucleares, así como promover la transferencia, adaptación y asimilación de tecnología en esta materia.
2. Promover el desarrollo nacional de la tecnología en la industria nuclear fomentando la innovación, transferencia y adaptación de tecnologías para el diseño, la fabricación y la construcción de componentes y equipos.
3. Promover la realización de actividades de investigación y desarrollo relativas a

las aplicaciones y aprovechamiento de sistemas nucleares y materiales radiactivos para usos no energéticos requeridos por el desarrollo nacional. Además, promoverá las aplicaciones de las radiaciones ionizantes y los radioisótopos en sus diversos campos.

4. Liderar los programas y estrategias para fomentar la participación de mujeres y personas con identidades de género diversas en el sector nuclear, desde diversas disciplinas, que permitan generar un clima de apertura, ampliar la visibilidad de los aportes y generar comunidades de práctica para fomentar el conocimiento para las mujeres y personas con diversas identidades de género, así como fomentar el aprendizaje colaborativo y el cambio institucional para la igualdad de género en el ámbito de la investigación, entre otros.

Estas deben contar con la participación del Ministerio de Trabajo, Ministerio de Educación y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de modo que se articulen de manera efectiva la oferta académica y demanda laboral para las mujeres y personas con identidades diversas de género en el sector.

CAPÍTULO XVII.

Disposiciones finales y transitorias

Artículo 75. Regulación de la Medicina Nuclear. Conforme a lo dispuesto en el Capítulo VI de esta ley, la práctica de medicina nuclear, se regulará por parte de la ANSN asegurando el uso seguro y efectivo de las tecnologías nucleares y radiaciones ionizantes en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades, protegiendo así la salud de los pacientes y del personal médico. Las limitaciones de dosis establecidas por la ANSN no aplican a las aplicaciones médicas.

CAPÍTULO XVIII.

Disposiciones finales y transitorias

Artículo 76. Régimen de transición. La ANSN asumirá las competencias del Ministerio de Minas y Energía, del Ministerio de Salud y Protección Social, de las Secretarías de Salud, del Servicio Geológico Colombiano y demás instituciones que a su cargo tengan responsabilidades en materia de control regulatorio incluyendo las de autorización, vigilancia, control e inspección de materiales radiactivos, materiales nucleares, fuentes radiactivas y equipos generadores de radiación ionizante, instalaciones nucleares y en general las aplicaciones de tecnologías nucleares y/o radiaciones ionizantes en Colombia, conforme a lo establecido en esta ley.

Se realizarán los ajustes institucionales y administrativos por parte de la función pública que integren en la ANSN las funciones correspondientes, así como a los presupuestos asociados, el personal, transferencia de archivos y documentación

relevante o cualquier tipo de propiedad de las entidades que cumplen responsabilidades en materia de control regulatorio y/o delegatario asignadas con anterioridad a la entrada en vigor de la presente ley.

Artículo 77. Entrada en vigencia. Dentro de los doce (12) meses siguientes a la publicación de la presente ley el Gobierno nacional emitirá la normatividad requerida para su reglamentación. Expedida la misma, sus disposiciones se aplicarán a todas las solicitudes de autorización, mientras tanto se continuará aplicando la reglamentación emitida con base al marco normativo previo.

Artículo 78. Vigencia del marco normativo previo. El marco normativo previo a la publicación de la presente ley y su reglamentación, que regule las actividades relacionadas con los usos seguros y pacíficos de las tecnologías nucleares y de las radiaciones ionizantes, en sus aplicaciones en los distintos sectores, y otras actividades que pudieran producir exposición a las radiaciones ionizantes, conservarán su vigencia hasta que se expida la nueva normativa por parte de la ANSN de acuerdo a lo señalado en la presente ley.

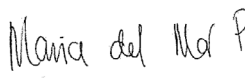
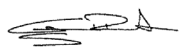
Parágrafo. La ANSN tendrá la obligación, en conjunto con las entidades que emitieron las normas, de realizar una revisión expost de la normativa emitida en la materia, analizando la pertinencia de su actualización o derogación.

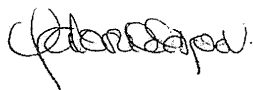
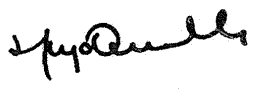
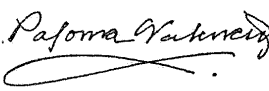
Artículo 79. Vigencia de autorizaciones. Las autorizaciones concedidas en aplicación de las funciones regulatorias del Ministerio de Minas y Energía y del Ministerio de Salud como de sus entidades delegadas, seguirán teniendo plena vigencia y se considerarán autorizadas con arreglo a la presente ley, hasta su fecha de vencimiento.

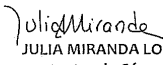
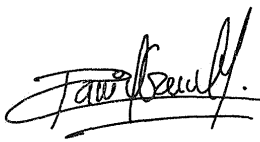
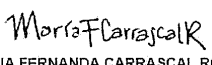
Parágrafo. La ANSN podrá revocar, de conformidad con el Código de Procedimiento Administrativo y de lo Contencioso Administrativo, cualquier condición de una autorización concedida en virtud del inciso anterior del presente artículo, siempre y cuando ésta no se encuentre en consonancia con los términos de la presente ley.

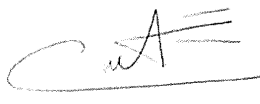
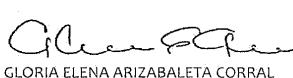
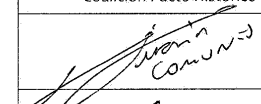
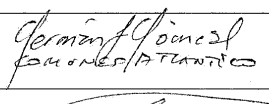
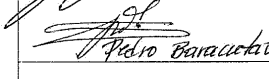
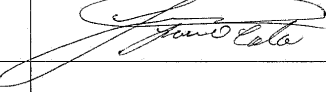
No obstante, lo anterior, las medidas financieras aplicadas de conformidad con las condiciones de la autorización, seguirán en vigor durante un plazo máximo de 1 año contado desde la fecha de entrada en vigencia de la presente ley.

Artículo 80. Vigencia y derogatorias. La presente ley rige a partir de la fecha de su publicación en el *Diario Oficial* y deroga el artículo 151 de la Ley 9ª de 1979; el numeral 12 del artículo 2º, los numerales 1 y 16 del artículo 5º, y el numeral 10 del artículo 14 del Decreto número 381 de 2012; los numerales 22 y 23 de artículo 6º del Decreto número 1617 de 2013, numeral 11 del artículo 11 del Decreto número 2703 de 2013, así como todas las disposiciones legales o reglamentarias que le sean contrarias.

Cordialmente,  JUAN FERNANDO CRISTO BUSTOS Ministro del Interior	
 MARIA DEL MAR PIZARRO GARCÍA Representante a la Cámara por Bogotá	 GERMÁN ROGELIO ROZO ANÍS Representante a la Cámara Departamento de Arauca
 PAOLA HOLGUÍN Senadora de la República	 JUAN ESPINAL Representante a la Cámara por Antioquia

 JULIO ROBERTO SALAZAR PERDOMO Representante a la Cámara Departamento de Cundinamarca	 DAVID ALEJANDRO TORO RAMÍREZ Representante a la Cámara por Antioquia
 OLGA LUCÍA VELÁSQUEZ NIETO Representante a la cámara por Bogotá partido alianza verde	 ANDRÉS EDUARDO FORERO MOLINA Representante a la Cámara por Bogotá
 GABRIEL ERNESTO PARRADO DURÁN Representante a la Cámara por el Meta Pacto Histórico - PDA	 Hugo Alfonso Archila Suárez Representante a la Cámara Departamento de Casanare
 PALOMA VALENCIA LASERNA Senadora de la República	 ALIRIO URIBE MUÑOZ Representante a la Cámara por Bogotá

	Coalición Pacto Histórico
 EDUARD SARMIENTO HIDALGO REPRESENTANTE A LA CÁMARA POR CUNDINAMARCA PACTO HISTÓRICO	 HERÁCLITO LANDÍNEZ SUÁREZ Representante a la Cámara Pacto Histórico
 JULIA MIRANDA LONDOÑO Representante a la Cámara por Bogotá Partido Nuevo Liberalismo	 JORGE HERNAN BASTIDAS ROSERO REPRESENTANTE A LA CÁMARA POR CAUCA PACTO HISTÓRICO
 DANIEL CARVALHO MEJÍA Representante a la Cámara por Antioquia	 ANÍBAL GUSTAVO HOYOS FRANCO Representante a la Cámara por Risaralda
 MARIA FERNANDA CARRASCAL ROJAS Representante a la Cámara por Bogotá	 SARAY ROBAYO BECHARA Representante a la Cámara Departamento de Córdoba

 CARLOS ADOLFO ARDILA ESPINOSA REPRESENTANTE A LA CÁMARA POR PUTUMAYO PARTIDO LIBERAL COLOMBIANO	 GLORIA ELENA ARIZABALETA CORRAL Representante a la Cámara
 ERICK ADRIÁN VELASCO BURBANO Representante a la Cámara por Nariño Coalición Pacto Histórico	 JUAN CARLOS LOZADA VARGAS Representante a la Cámara por Bogotá
 Germán Pineda Comunidad	 Germán Pineda Comunidad
 Pedro Baracato	 Germán Pineda

EXPOSICIÓN DE MOTIVOS

Introducción

Esta iniciativa busca la regulación efectiva de las tecnologías nucleares y de las fuentes de radiación ionizante en Colombia. Este proyecto representa un gran paso hacia el aprovechamiento responsable de las aplicaciones nucleares y de la radiación ionizante en áreas críticas del desarrollo nacional, y es una declaración del compromiso de Colombia con la salud pública, la protección ambiental y el progreso tecnológico.

El objeto de esta ley es establecer un marco legal robusto y detallado que rija la regulación, vigilancia, control y fiscalización de las actividades nucleares en el país, garantizando su uso seguro y pacífico. Las aplicaciones de estas tecnologías son extensas e incluyen sectores vitales como la salud, la industria, la agricultura, la investigación, el ambiente y la docencia. Este proyecto de ley, por tanto, sienta las bases para una regulación cuidadosa y ética de la infraestructura nuclear en Colombia.

La conveniencia de este proyecto de ley se expresa en diferentes sectores entre los cuales se destacan:

- a. **Salud Pública:** En el sector salud, la aplicación de la radiación ionizantes en tratamientos contra el cáncer, diagnósticos por imágenes y esterilización de equipo médico son indispensables. Una regulación clara mejora la calidad de estos servicios, salvaguardando la salud de los pacientes.
- b. **Avance agrícola y ganadero:** En la industria y la agricultura, las tecnologías nucleares son herramientas poderosas para el mejoramiento de procesos de conservación de alimentos y desarrollo de nuevas variedades de cultivos, todos esenciales para el crecimiento económico y la seguridad alimentaria. Adicionalmente, la implementación de la técnica del insecto estéril es relevante para el control de plagas.

- c. **Aplicaciones ambientales:** El campo de aplicación de las tecnologías nucleares en el sector ambiental es muy diverso. Incluye la monitorización de variables geoquímicas hasta la formulación de estrategias de adaptación al cambio climático.
- d. **Investigación y Desarrollo:** La promoción de la investigación en el ámbito nuclear es crucial para el avance científico del país, permitiendo que Colombia sea pionera en tecnologías emergentes y soluciones innovadoras.
- e. **Seguridad y Protección:** Al formular un marco regulatorio general para el uso de las tecnologías nucleares y de la radiación ionizante, se fortalece la seguridad nacional y se protege a la ciudadanía de posibles riesgos asociados con el manejo inadecuado de materiales peligrosos.

Antecedentes

En nuestro país se empezó a hablar de los usos de la radiactividad en 1928, cuando el profesor Francés Claude Regaud y el entonces ministro de Instrucción Pública doctor, José Vicente Huertas presentaron ante el Congreso de la República de Colombia la propuesta de creación del “Instituto Nacional de Radium”, como parte de la Universidad Nacional de Colombia, el cual posteriormente en 1951, cambió su denominación a la actual de Instituto Nacional de Cancerología, adscrito al Ministerio de la Protección Social. El inicio formal y estructurado del uso de las tecnologías nucleares en Colombia se presentó a mediados del Siglo XX, con la creación del Instituto Colombiano de Asuntos Nucleares ICAN, durante la administración Rojas Pinilla, situación que marcó un hito en la transformación que se daba de un país rural a uno industrial (Ahumada, 1989).

El Reactor Nuclear colombiano IAN-R1 fue donado por el Gobierno de los Estados Unidos de América a través del Programa “Átomos para la Paz” y puesto a crítico el 20 de enero de 1965, durante la administración del Presidente Guillermo León Valencia. Este reactor nuclear es una infraestructura científica y tecnológica para el avance de las investigaciones en las áreas geológica y ambiental, dado que puede realizar la irradiación de muestras de diferentes tipos rocas, suelos, sedimentos y matrices ambientales. La caracterización de estas muestras ha facilitado el avance de los estudios ambientales en el país. El legado del reactor IAN-R1, y su contribución al avance científico y tecnológico de Colombia y es un testimonio de cómo la infraestructura nuclear existente ha impulsado la capacidad de investigación nacional.

El sector nuclear aportó al menos 2,17 billones COP al Producto Interno Bruto (PIB) colombiano en el 2018, equivalente a un 0,25% del PIB nacional. Al revisar por sectores para ese mismo año se encontró que esta contribución fue equivalente al 5,5% del PIB de medicina y servicios sociales, y al

7% del PIB de actividades profesionales, científicas y técnicas (Minenergía, 2019).

El sector nuclear empleó, de manera directa, 3.993 trabajadores en el 2018, representando aproximadamente un 0,02% de las personas ocupadas en el país. El número de empleados del sector equivale al 0,6% de los empleados en el sector de medicina, y al 2,7% de empleados en actividades profesionales, científicas y técnicas (DANE, 2020). En términos de contratación por género, de cada 10 trabajadores el sector nuclear, 4 fueron mujeres y 6 correspondieron a hombres. Las categorías de -medicina y otros-, presentaron las relaciones con mayor equidad, con una relación aproximada de 50-50, en tanto que, los sectores de servicios conexos de minería y petróleo, y ensayos y metrología evidenciaron contratación de mujeres inferior al 30%. En 2018, hubo al menos 45.000 personas que se consideran personal ocupacionalmente expuestos a radiación ionizante (Minenergía, 2019) CONSIDERACIONES REGULATORIAS Y FISCALES DE LA AGENCIA NUCLEAR DE SEGURIDAD NUCLEAR.

Independencia del órgano regulador

Los órganos reguladores encargados de la seguridad nuclear tienen como objetivo garantizar la protección adecuada de las personas, la sociedad y el ambiente ante los riesgos radiológicos asociados al uso de las aplicaciones nucleares. La independencia de un órgano regulador se puede relacionar con su capacidad para adoptar reglamentaciones y sanciones sin la interferencia de presiones o intereses que puedan entrar en conflicto con la seguridad nuclear. A su vez, esta capacidad está ligada con la credibilidad que tiene el órgano regulador frente a la población en general, cuya salud y seguridad le incumbe proteger.

De acuerdo con un informe reciente del Grupo Internacional Asesor en Seguridad Nuclear, los órganos reguladores cumplen tres funciones básicas: 1) elaborar y promulgar un conjunto de reglamentos apropiados, exhaustivos y sólidos; 2) verificar que esos reglamentos se cumplen, y 3) en caso de incumplimiento de las condiciones previstas en la licencia, negligencia profesional o conducta indebida por parte de las personas u organizaciones sujetas a supervisión reglamentaria, hacer cumplir los reglamentos establecidos imponiendo las medidas correctivas del caso. Por lo tanto, para cumplir adecuadamente con estas funciones, un órgano regulador debe ser independiente en la formulación de la regulación, en la revisión del cumplimiento de esta y en la imposición de sanciones cuando dé a lugar.

Con base en lo anterior y respecto a Colombia, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) ha establecido las siguientes recomendaciones con respecto a su órgano regulador o autoridad reguladora:

El gobierno deberá establecer y mantener, con arreglo al ordenamiento jurídico, una Autoridad

Reguladora y deberá conferir la autoridad legal y proveerla de la competencia y los recursos necesarios para que pueda cumplir sus obligaciones estatutarias en relación con el control reglamentario de las instalaciones y actividades.

El gobierno deberá velar por que la Autoridad Reguladora goce de independencia efectiva en la adopción de sus decisiones relacionadas con la seguridad y por qué esté separado funcionalmente de las entidades que tengan responsabilidades o intereses que pudieran influir indebidamente en la adopción de sus decisiones.

Para ser efectivamente independiente, la Autoridad Reguladora deberá disponer de suficientes facultades y recursos humanos y deberá tener acceso a suficientes recursos financieros para poder cumplir de manera apropiada las tareas que se le encomiende.

La Autoridad Reguladora deberá poder emitir fallos y adoptar decisiones independientes en materia de reglamentación, libre de toda influencia indebida que pueda comprometer la seguridad, como las presiones relacionadas con la evolución de las circunstancias políticas o las condiciones económicas, o las presiones ejercidas por departamentos gubernamentales u otras entidades. Además, la Autoridad Reguladora deberá poder ofrecer asesoramiento independiente a los departamentos y órganos gubernamentales sobre cuestiones relacionadas con la seguridad de las instalaciones y actividades.

Atomización y falta de garantías para la independencia en el diseño institucional del órgano regulador colombiano

El órgano regulador colombiano tiene sus funciones fragmentadas entre el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Salud y Protección Social, el Servicio Geológico Colombiano y las secretarías departamentales o distritales del país. En la Figura 1 se puede observar la repartición de estas funciones. Para la regulación de materiales nucleares el Ministerio de Minas y Energía es la autoridad reguladora y es quien realiza su evaluación e inspección.

delegado algunas funciones al Servicio Geológico Colombiano. Esto se hizo mediante la Resolución número 40223 de 2022, en donde el Ministerio de Minas y Energía delegó al Servicio Geológico Colombiano las funciones de expedición, modificación, renovación, suspensión o revocatoria de las autorizaciones relacionadas con el uso y gestión segura de los materiales radiactivos y nucleares en el territorio nacional, así como de la realización de inspecciones programadas y de control, a las instalaciones que utilizan dichos materiales. Estas funciones las ha terminado asumiendo el Grupo de Licenciamiento y Control adscrito a la Dirección de Asuntos Nucleares del Servicio Geológico Colombiano. Es importante destacar que el Grupo de Licenciamiento y Control del SGC está facultado para fijar tarifas por los servicios de inspección y control que realiza.

Por otra parte, la regulación de equipos generadores de radiación ionizante, como las máquinas de rayos X y los aceleradores, está en cabeza del Ministerio de Salud y Protección Social. En 2019, a través del Decreto Ley 2106 de 2019 que modificó el artículo 151 de la Ley 9ª de 1979, se estableció que el Ministerio de Salud sería el responsable de emitir la normatividad asociada. No obstante, en dicha modificación se establece también que las secretarías departamentales o distritales de Bogotá, Barranquilla y Cartagena de Indias, o quien defina el Ministerio de Salud, serían las responsables de expedir las licencias y realizar la inspección, vigilancia y control a los titulares de estas mismas.

Esta atomización institucional presente en la regulación de las radiaciones ionizantes también lleva a problemas relacionados con la independencia del órgano regulador. Esto ocurre porque las instituciones como el Ministerio de Minas o el de Salud, el Servicio Geológico Colombiano y las Secretarías de Salud, aunque tengan la función de regular las radiaciones ionizantes, también pueden tener intereses para promover el uso de ellas para cumplir con su misionalidad. Por ejemplo, el Ministerio de Minas y el Servicio Geológico Colombiano tienen a su cargo realizar investigaciones con aplicaciones nucleares para su sector. El Ministerio de Salud y las secretarías para cumplir con sus misionalidades, tienen interés en aumentar la cantidad de máquinas de rayos X per cápita o los ciclotrones del Estado para la fabricación de radiofármacos.

Contrario al andamiaje institucional actual, la regulación del uso pacífico y seguro de las radiaciones ionizantes debe centralizarse en una sola institución, que sea independiente financiera y administrativamente. Los problemas de atomización y falta de independencia generan problemas de credibilidad y desfases interinstitucionales, lo cual ha llevado a una regulación, vigilancia y control desarticulada de los usos de las radiaciones ionizantes que ha generado barreras y atrasos para el desarrollo pleno y adecuado de las aplicaciones y tecnologías nucleares. En la siguiente sección se expone la propuesta para la creación de un órgano regulador centralizado e independiente, basado en lo establecido



Figura 1. Organigrama institucional de la regulación de radiaciones ionizantes en Colombia

Fuente: Ministerio de Minas y Energía.

Sin embargo, para la regulación de fuentes radiactivas, el Ministerio de Minas y Energía ha

en los capítulos correspondientes a la Agencia Nacional de Seguridad Nuclear y las Disposiciones Finales o Transitorias del proyecto de ley.

Autoridad Reguladora Independiente: Propuesta 3 de la consultoría contratada en el marco del proyecto de inversión 2017011000218.

En el marco del proyecto de inversión “Fortalecimiento de la Autoridad Reguladora para el Uso Seguro de los Materiales Nucleares y Radiactivos en el Territorio Nacional 2018-2022” Código Bpin: 2017011000218, el cual se ejecutó por el Grupo de Asuntos Nucleares del Ministerio de Minas, varios productos fueron realizados, entre ellos, una consultoría para revisar la factibilidad de la creación de una agencia reguladora independiente para el sector nuclear.

La consultoría se realizó con la firma Visión y Proyectos: Consultoría Organizacionales. De ella resultaron dos productos claves que analizan la estructura de Autoridad Reguladora para el Sector Nuclear más adecuada para Colombia:

Definición y propuesta de la estructura de Autoridad Reguladora (AR) más adecuada para el Sector Nuclear en Colombia. - Contrato GGC número 586 de 2021 - Diciembre de 2021

Segunda fase del estudio para la definición de la adecuada estructura de la Autoridad Reguladora para el uso seguro de los materiales nucleares y radiactivos en el territorio nacional - Contrato GGC número 635 de 2022 - Diciembre de 2022

Estas consultorías identificaron tres formas posibles para la estructura de una Autoridad Reguladora del Sector Nuclear. La propuesta 1 buscaría fortalecer las funciones delegadas al Servicio Geológico Colombiano. La propuesta 2 buscaría crear la infraestructura de la Autoridad Reguladora en el Ministerio de Minas y Energía. Por su parte, la propuesta 3 –la más adecuada al objetivo del presente proyecto ley– buscaría crear una Autoridad Reguladora, como una institución totalmente independiente del sector de Minas y Energía.

Para recoger las recomendaciones del OIEA, el presente proyecto de ley busca la creación de una autoridad reguladora como aquella que se define en la propuesta 3 de esta consultoría. Las propuestas 1 y 2 no separan del todo al promotor u operador (Ministerio de Minas y Servicio Geológico Colombiano) del regulador. En la propuesta 1, uno de los operadores del sector (el SGC) sería la entidad encargada de expedir la regulación del sector. En la propuesta 2, una entidad promotora de la energía e investigación nuclear sería la misma encargada de ejercer la regulación, como ya ocurre hoy en día con la Dirección de Asuntos Nucleares. Por lo tanto, la opción preferible para definir la estructura de la Autoridad Reguladora sería aquella descrita en la propuesta 3, siguiendo las recomendaciones del Organismo Internacional de Energía Atómica y el principio de separación entre el promotor/operador y el regulador.

Agencia Nacional de Seguridad Nuclear: Estructura Interna

En la consultoría realizada por Visión y Proyectos, la propuesta 3 busca la creación de una institución totalmente independiente del Ministerio de Minas y Energía y del Ministerio de Salud y Protección Social. Este consiste en la creación de un órgano regulador único con poder coercitivo y presupuesto propio. En este escenario, las funciones de regulación que actualmente se encuentran atomizadas en los ministerios y secretarías mencionadas anteriormente (Figura 1) quedarían centralizadas en este único órgano regulador, denominado Agencia Nacional de Seguridad Nuclear (ANSN) (véase el Capítulo III del Proyecto de Ley).

Legalmente, la Agencia Nacional de Seguridad Nuclear será una Agencia Estatal, del sector descentralizado de la Rama Ejecutiva del Orden Nacional, con personería jurídica, patrimonio propio y autonomía administrativa, técnica y financiera, adscrita al Departamento Administrativo de la Presidencia de la República (Artículo 6º). La Agencia será un organismo de carácter técnico especializado encargado de la regulación, vigilancia y control, y fiscalización de las actividades relacionadas con los usos seguros y pacíficos de las tecnologías nucleares y de las radiaciones ionizantes (Artículo 7º). La Agencia estará domiciliada en Bogotá D.C. (Artículo 8) y operará bajo el régimen jurídico del derecho público (Artículo 9º). La Agencia tendrá un Consejo Directivo y Director General (Artículo 11). El Consejo Directivo estará compuesto por 1) el Presidente de la República; 2) el Director del Departamento Nacional de Planeación (Artículo 12).

A nivel operativo, se prevé que la estructura interna de la Agencia Nacional de Seguridad Nuclear estará compuesta por tres líneas. La primera línea será de mando político y estará compuesta por el director general y el secretario ejecutivo. La segunda línea será de control interno y estará compuesta por el departamento de auditoría interna y la unidad de transparencia. Finalmente, habrá una tercera línea en donde se encuentran la Secretaría Privada, la Secretaría General y cinco divisiones: la División Jurídica; la División Financiera; la División de Licenciamiento y Control; la División de Relaciones Públicas y Apoyo; y la División de Planeación. El organigrama tentativo de la estructura interna de la Agencia Nacional de Seguridad Nuclear se puede observar en la Figura 2.

Figura 2. Organigrama de la Agencia Nacional de Seguridad Nuclear



Fuente: elaboración propia, basada en la consultoría de Visión y Proyectos

Agencia Nacional de Seguridad Nuclear: Presupuesto de la entidad

De acuerdo con la consultoría de Visión y Proyectos, el presupuesto de una entidad nueva estaría desagregado en los cinco rubros presentados en la Tabla I.

Tabla 1. Rubros del Presupuesto de la Agencia Nacional de Seguridad Nuclear

Rubros Presupuestales
1. Gastos de Personal
0. Adquisición de Bienes y Servicios
0. Transferencias Corrientes
0. Gastos por Tributos y Multas
0. Presupuesto de Inversión en Proyectos Misionales

1. Gastos de Personal

La planta de personal de la Agencia estaría compuesta por 101 funcionarios, de los cuales el 36% serían profesionales universitarios, 26% profesionales especializados, 19% serían cargos directivos o de asesores y el 19% serían asistentes y auxiliares. En la Tabla 2 se presenta la desagregación de la planta de personal por nivel y división de la Agencia. Se estima que el 81% de los funcionarios tendrían modalidad de contrato a término indefinido o prestación de servicios, mientras que el 19% son de libre nombramiento y remoción. La Tabla 3 presenta la escala salarial de la planta de personal mencionada. En la Tabla 4 se encuentra el presupuesto total de los gastos de personal calculados originalmente por la consultoría con base en el Decreto número 961 de 2021. La Tabla 5 presenta el gasto de personal actualizado, conforme a las asignaciones salariales dispuestas en el Decreto número 0905 de 2023.

Tabla 2. Planta de personal de la Propuesta 3

PROPUESTA 3									
Nivel	Dirección AR	Subdirección Técnica	Subdirección Administrativa	Jefe Oficina Prácticas Médicas	Jefe Oficina Prácticas Industriales	Jefe Oficina Investigación	Grupo Relaciones Públicas	División Planeación	TOTAL FUNCIONARIOS
Director	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Subdirector	0	1	1	0	0	0	1	1	4
Jefe División/Oficina	1	1	1	1	1	1	1	0	7
Asesores	1	1	0	1	1	1	1	1	7
Profesionales Especializados	1	3	3	6	6	6	1	1	27
Profesionales Universitarios	3	3	3	8	8	8	1	2	36
Asistentes	1	1	2	2	2	2	1	1	12
Auxiliares	0	1	3	1	1	1	0	0	7
Total Funcionarios	8	11	13	19	19	19	6	6	101

Fuente: Consultoría de Visión y Proyectos

Tabla 3. Escala Salarial de la planta de personal de la Propuesta 3

Naturaleza	Nivel	Escala Salarial	Cantidad
Libre Nombramiento y Remoción	Director	Directivo Grado 27	1
	Jefe División	Directivo Grado 23	4

Naturaleza	Nivel	Escala Salarial	Cantidad
	Jefe División / Oficina	Directivo Grado 22	7
	Asesores	Asesor Grado 12	7
Contrato Término Indefinido / Prestación de Servicios	Profesionales Especializados	Profesional Grado 22	27
	Profesionales	Profesional Grado 19	36
	Asistentes	Asistencial Grado 21	12
	Auxiliares	Asistencial Grado 11	7

Fuente: elaboración propia, basada en la consultoría de Visión y Proyectos

Tabla 4. Presupuesto de Gasto de Personal de la Propuesta 3

(Asignaciones Salariales Decreto 473 de 2022)

Dicho personal implicaría el presupuesto anual presentado en la Tabla No. 22, el cual igualmente fue estimado en su oportunidad utilizando la información de asignaciones salariales del Decreto número 961 de 2021 expedido por la Función Pública:

Tabla 22. Presupuesto de Gasto de Personal de la AR-Propuesta 3.

PROPUESTA 3					
Identificación del Empleo	Naturaleza	Nivel	Asignación	PPTO MES	PTO FUNCIONAMIENTO/AÑO
	Libre Nombramiento y Remoción	Director	\$ 14.042.684	\$ 14.042.684	\$ 168.512.208
		Jefe División	\$ 10.931.156	\$ 43.724.624	\$ 524.695.488
		Jefe División/Oficina	\$ 9.952.423	\$ 69.666.961	\$ 836.003.532
		Asesores	\$ 7.613.882	\$ 53.297.174	\$ 639.566.088
	Contrato Término Indefinido/Prestación de Servicios	Profesionales Especializados	\$ 7.265.579	\$ 196.170.633	\$ 2.354.047.596
		Profesionales	\$ 5.887.794	\$ 211.960.584	\$ 2.543.527.008
		Asistentes	\$ 1.970.395	\$ 23.644.740	\$ 283.736.880
		Auxiliares	\$ 1.400.462	\$ 9.803.234	\$ 117.638.808
Total Funcionarios			\$ 622.310.634	\$ 7.467.727.608	

Fuente: Cálculos Propios-Visión & Proyectos.

Tabla 5. Presupuesto de Gasto de Personal de la Propuesta 3 (Asignaciones Salariales Decreto 0905 de 2023)

Propuesta 3				
Naturaleza	Nivel	Asignación	PPTO MES	PTO FUNCIONAMIENTO/AÑO
Libre Nombramiento y Remoción	Director	\$17.264.275	\$17.264.275	\$207.171.300
	Jefe División	\$13.438.918	\$53.755.672	\$645.068.064

	Jefe División / Oficina	\$12.235.650	\$85.649.550	\$1.027.794.600
	Asesores	\$9.360.615	\$65.524.305	\$786.291.660
	Profesionales Especializados	\$8.932.407	\$241.174.989	\$2.894.099.868
	Profesionales	\$7.238.538	\$260.587.368	\$3.127.048.416
	Asistentes	\$2.422.432	\$29.069.184	\$348.830.208
	Auxiliares	\$1.721.749	\$12.052.243	\$144.626.916
	Total Funcionarios		\$765.077.586	\$9.180.931.032

Fuente: elaboración propia, basada en la consultoría de Visión y Proyectos

0. Adquisición de Bienes y Servicios

Bajo este rubro presupuestal se contempla la adquisición de activos no financieros, de materiales y suministros y de servicios. Entre los activos no financieros a adquirir se encuentran el arriendo de oficinas, los muebles y equipos de oficina, la maquinaria de usos especiales, el equipo de transporte y los productos de propiedad intelectual. Entre los materiales y suministros a adquirir se encuentran los productos alimenticios y bebidas, los productos de madera, el suministro de combustible del parque automotor, los artículos textiles de dotación, productos químicos y productos metálicos y equipos para usos especiales de oficina. Asimismo, entre los servicios a adquirir se encuentran los de capacitación, construcción, suministro de alimentos y bebidas, transporte de pasajeros, transporte de carga, servicios postales y mensajería, servicios públicos, arrendamiento, financieros y seguros, servicios jurídicos y contables, servicios profesionales, científicos y técnicos, telecomunicaciones y conectividad RAIS, soporte, aseo y vigilancia, mantenimiento,

edición, cuidado salud humana, acueducto, alcantarillado y disposición de desechos, esparcimiento, viáticos.

0. Transferencias corrientes

Este rubro incluye los pagos efectuados por Colombia por vinculación a la OIEA. Es un pago anual que se efectúa desde que el país está vinculado con el citado organismo internacional. Representa un derecho que se origina del compromiso adquirido con la OIEA.

Adicionalmente, este rubro incluye los valores correspondientes a seguridad social que pudiera llegar a requerir la Agencia, según los regímenes y afiliaciones de los funcionarios, relacionados con los aportes de previsión de pensión o las incapacidades y licencias.

0. Gastos por tributos y multas

Este rubro presupuestal corresponde al pago de impuestos y gravámenes, según corresponda. Aquí se incluye la cuota de fiscalización y auditaje de la Contraloría General de la Nación consignada en la Resolución 038 del 5 de diciembre de 2019 del Ministerio de Hacienda y Crédito Público.

0. Compra de oficinas

Este rubro presupuestal corresponde a la compra de oficinas. La Tabla 6. ilustra los espacios requeridos para el establecimiento y funcionamiento de la agencia. Se requiere un total de 807,5 m2 con espacios para el equipo directivo, los funcionarios y el equipo TIC y los espacios comunes. La adquisición de oficinas es un costo de única vez que se asumiría solamente durante la primera vigencia fiscal y cuyo valor aproximado calculado por la consultora asciende a \$9.033.811.315.

Tabla 6. Área requerida para el establecimiento de la Agencia
Tabla 42. Área estimada para la Sede de la AR en la Alternativa 3:

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA			
Area Requerida m2 Alternativa 3			
Espacio	Total m2	Cant Espados	m2
Recepción y sala de espera	15	1	15
Cubiculos Practicas Médicas	95	19	5
Cubiculos Prácticas Industrial	95	19	5
Cubiculos Practicas Investig	95	19	5
Cubiculos Directores	90	12	7,5
Sala FuncionariosTics	35	1	35
Sala Infraestructura Tics	160	1	160
Sala Reunión grupal	80	4	20
Oficinas administrativas	45	3	15
Areas comunes y Cafetería	60	1	60
Baños	37,5	5	7,5
Total m2	807,5	m2/Persona	8,00

Fuente: Elaboración Propia Visión & Proyectos.

0. Presupuesto total estimado de la entidad

La consultoría realizada por Visión y Proyectos en su segunda fase realizó una estimación completa de lo que costaría instaurar y poner en operación la Agencia Reguladora. La Tabla 7. resume los supuestos utilizados para esta estimación que se realizó con base en el IPC del mes de diciembre de 2022.

Tabla 7. Supuestos macroeconómicos y operacionales de la estimación de la consultoría

Supuestos Macroeconómicos y Operacionales		
No	Variables	
1	Inflación doméstica fin de periodo, IPC, 2022-Incremento Inversión Proyectos Misionales	10,00%
2	Inflación doméstica fin de periodo, IPC, 2022 en adelante	7,00%
3	Año de Inicio del Proyecto "Fortalecimiento de AR para el Uso de Material Radiactivo y Nuclear en Colombia"	2023
4	Meses de operación del año	12
5	Atención al 100% de la Demanda Potencial	Escenario 1
6	El presupuesto de Gasto de personal incluye Salarios y/o Honorarios	Si
7	Las oficinas se arriendan alternativa 1 y 2	Si
8	Las oficinas se compran alternativa 3	Si
9	Los servicios Aseo y Cafetería y Vigilancia se tercerizan	Si
10	Ingresos generados por AR	0%
11	Recursos aportados por PGN- MME/ AR	100%
12	Devaluacion Anual	15%
13	Factor de Fiscalizacion para calculo de Cuota de Fiscalización y auditaje CGN.Resolución N. 038 de 05 Dic. 2019 MHCP	0,137933316%

Para este caso asumimos que el año de inicio del proyecto no sería el 2023 sino el 2025; los demás supuestos se mantienen constantes. Adicionalmente, como este estudio fue realizado con base en el IPC y el decreto de asignaciones salariales de 2022, se realizó una actualización con base en los precios y asignaciones salariales de 2023. En la Tabla 8 se expone el presupuesto total estimado de funcionamiento e inversión de la agencia, tomando en cuenta esta actualización de precios. La agencia tendría un costo estimado de \$23.8 mil millones de pesos en el primer año. Los años siguientes, la agencia tendría un costo estimado anual en precios constantes de 2023 de \$13.7 mil millones. Asumiendo una inflación anual del 7%, la agencia tendría un costo promedio anual en precios corrientes de \$23.1 mil millones de pesos.

Tabla 8. Presupuesto estimado de funcionamiento e inversión de la Agencia: 2025-2040 (millones de pesos corrientes)

Vigencia	1. Gastos de personal	2. Adquisición de bienes y servicios	3. Transferencias corrientes	4. Gastos por tributos y multas	5. Ppto. de inversión en proyectos misionales	Total (sin compra de oficinas)	Compra Oficinas	Total (con compra de oficinas)
2025	9.180,93	4.057,84	146,87	48,85	1.311,31	14.745,8	9.033,81	\$23.779,60
2026	9.823,60	2.211,96	157,14	52,23	1.442,44	13.687,4		\$13.687,36
2027	10.511,25	2.366,80	168,18	55,95	1.543,41	14.645,6		\$14.645,58
2028	11.247,04	2.532,46	179,87	59,77	1.651,48	15.670,6		\$15.670,62
2029	12.034,33	2.709,71	192,54	64,04	1.767,10	16.767,7		\$16.767,71
2030	12.876,73	2.899,41	205,98	68,52	1.890,80	17.941,4		\$17.941,43
2031	13.778,10	3.102,33	220,41	73,32	2.023,13	19.197,30		\$19.197,30
2032	14.742,57	3.319,46	235,82	78,46	2.164,75	20.541,06		\$20.541,06
2033	15.774,55	3.551,89	252,32	83,92	2.316,20	21.978,89		\$21.978,89
2034	16.878,77	3.800,50	270,02	89,82	2.478,37	23.517,48		\$23.517,48
2035	18.060,28	4.066,58	288,92	96,05	2.651,90	25.163,74		\$25.163,74
2036	19.324,50	6.713,89	309,14	102,83	2.837,45	29.287,81		\$29.287,81
2037	20.677,22	4.655,79	330,78	109,93	3.036,11	28.809,83		\$28.809,83
2038	22.124,62	4.981,65	353,94	117,69	3.248,65	30.826,56		\$30.826,56
2039	23.673,34	5.330,46	378,64	125,89	3.476,06	32.984,39		\$32.984,39
2040	25.330,48	5.703,53	405,19	134,74	3.719,41	35.293,35		\$35.293,35

Fuente: Elaboración propia, con base en Visión y Proyectos

Impacto fiscal

Como fue mencionado anteriormente, el órgano regulador colombiano tiene sus funciones hoy repartidas entre el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Salud y Protección Social, el Servicio Geológico Colombiano y las secretarías departamentales o distritales del país. Dentro de estas instituciones hay dependencias que se dedican específica y exclusivamente a la regulación de radiaciones ionizantes. Con la creación de esta agencia, tal como está plasmado en el artículo 97 (Régimen de Transición), estas dependencias pasarían a estar recogidas dentro de la Agencia Nacional de Seguridad Nuclear. Por lo tanto, el impacto fiscal relacionado a la creación y sostenimiento de la agencia contempla la existencia previa de estas dependencias, las cuales tienen contemplaciones dentro del Presupuesto General de la Nación y fuentes de financiación propias.

Actualmente solo está disponible la información presupuestal para dos dependencias en particular: el Grupo de Asuntos Nucleares del Ministerio de Minas y el Grupo de Licenciamiento y Control del Servicio Geológico Colombiano. La Tabla 9 ilustra la composición presupuestal de estas dos entidades del 2015 al 2019, en precios de 2019. Allí se puede ver que el fondeo de estos dos grupos está compuesto en un 52% por recursos propios y en un 48% por recursos del Presupuesto General de la Nación. Esto implicaría que la mayoría del financiamiento no proviene directamente de la Nación, sino de los ingresos provenientes de las tarifas por servicios prestados por estas entidades.

Si se asume como constante en el tiempo esta composición presupuestal y se hace una actualización a precios de 2023, el presupuesto conjunto de estos dos grupos sería de \$3.169.748.565, anualmente. Si a esto se le agrega el presupuesto existente que utiliza el Ministerio de Salud y las secretarías departamentales y municipales para el desarrollo de sus funciones asociadas a la regulación de las radiaciones ionizantes, habría un estimado total del costo actual del órgano regulador colombiano. Sin embargo, al no contar con esta información, estos \$3.169.748.565 serían una cota mínima del costo fiscal que tiene el órgano regulador actual.

Por lo tanto, el impacto fiscal en precios constantes de 2023 sería de \$20.609.852.149 el primer año y de \$10.517.613.219 los años subsiguientes. Esto se deriva de restarle el presupuesto actual del órgano regulador al presupuesto estimado de funcionamiento e inversión de la agencia a crear. Cabe señalar que estos recursos restantes se podrán apropiar de las once fuentes definidas en el artículo 16 de la ley, entre las cuales se encuentran los ingresos provenientes por servicios de autorización y control, de servicios de asesoría y servicios técnicos y científicos, ingresos propios y rendimientos y recaudos provenientes de la ejecución de los proyectos de inversión a su cargo. Por lo tanto, este impacto fiscal se plantea como un límite superior.

Tabla 9. Composición del presupuesto del Grupo de Asuntos Nucleares y el Grupo de Licenciamiento y Control

Tabla 19. Composición del presupuesto del Grupo de Asuntos Nucleares y del Grupo de Licenciamiento y Control

MME - GAN	2015	2016	2017	2018	2019
Total Personal MME - Autoridad Reguladora	\$ 185.987.784	\$ 200.439.048	\$ 213.968.700	\$ 224.859.707	\$ 234.978.468
Presupuesto Total MME Autoridad Reguladora	\$ 185.987.784	\$ 200.439.048	\$ 213.968.700	\$ 709.322.390	1.068.116.926
SGC - DAN	2015	2016	2017	2018	2019
Presupuesto General de la Nación			\$ 14.200.177		\$ 72.988.784
Recursos Propios		\$ 879.832.669	1.144.463.900	1.363.749.027	1.247.943.825
Apropiación Presupuestal Dirección de Asuntos Nucleares - DAN		\$ 879.832.669	1.158.664.077	1.363.749.027	1.320.932.609
% Variación Rec Propios			30%	19%	-8%
Presupuesto General de la Nación		0%	1%	0%	6%
Recursos Propios		100%	99%	100%	94%
PGN / Recursos Propios		0%	1%	0%	6%
Otros Gastos Fundamentación DAN - Autoridad Reguladora	\$ 0	\$ 259.164.201	\$ 431.755.068	\$ 406.485.374	\$ 292.918.128
Personal Dirección de Asuntos Nucleares - DAN	\$ 486.677.712	\$ 620.668.468	\$ 726.909.009	\$ 957.263.653	1.028.014.481
Presupuesto Total Autoridad Reguladora	\$ 185.987.784	1.080.271.717	1.372.632.777	2.073.071.417	2.389.049.535
Presupuesto General de la Nación	\$ 185.987.784	\$ 200.439.048	\$ 228.168.877	\$ 709.322.390	1.141.105.710
Recursos Propios	\$ 0	\$ 879.832.669	1.144.463.900	1.363.749.027	1.247.943.825
% Part. Presupuesto General de la Nación	100%	19%	17%	34%	48%
% Part. Recursos Propios	0%	81%	83%	66%	52%

Fuente: Cálculos propios Teiknidata con base en información reportada por el GAN del MME, y el GLC del SGC

Tabla 10. Impacto Fiscal de la creación de la Agencia Nacional de Seguridad Nuclear

	Presupuesto OR con la ley	Presupuesto OR actual	Impacto fiscal
Primer año de creación	\$23.779.600.714	\$3.169.748.565	\$20.609.852.149
Años subsiguientes	\$13.687.361.784	\$3.169.748.565	\$10.517.613.219

Fuente: Elaboración propia

MARCO JURÍDICO DEL SECTOR NUCLEAR

En Colombia desde el año 1960 con la Ley 16 se aprobó e incorporó al ordenamiento jurídico el Estatuto del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), en concordancia con el compromiso del país por el desarrollo y uso de aplicaciones de uso pacífico de energía atómica. La función del OIEA es “procurar acelerar y aumentar la contribución de la energía atómica a la paz, la salud y la prosperidad en el mundo entero”.

Posteriormente, con la expedición de la Ley 47 de 1982 se aprobó el Acuerdo entre la República de Colombia y el Organismo Internacional de Energía Atómica para la aplicación de salvaguardias en el contexto del Tratado proscripción de las armas nucleares en la América Latina. En el que se determinan compromisos del país con respecto a las garantías de que las actividades nucleares que se realicen en el territorio de Colombia no se utilizarán para construir armas u otros dispositivos nucleares explosivos, sin obstaculizar el desarrollo económico o tecnológico del país. Lo anterior, será verificado por el OIEA.

En el ordenamiento jurídico del país hay dos entidades que en principio tienen competencia en materia de regulación del uso de material nuclear y radiactivo en el país que son el Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio de Salud. En cuanto al primero el Decreto número 381 de 2012 asigna las competencias de esta entidad frente a la formulación de la política nacional en materia nuclear y de materiales radiactivos, así como dictar normas y reglamentos para la gestión segura de los mismos. Con relación al Ministerio de Salud y Protección

Social la Ley 9ª de 1979 dispone en su artículo 151 que “Toda persona natural o jurídica que preste servicios de protección radiológica y control de calidad o, haga uso de equipos generadores de radiación ionizante, deberá contar con licencia expedida por la secretaría departamental o distritales de salud de Bogotá, Barranquilla y Cartagena de Indias o la entidad que tenga a cargo dichas competencias, de acuerdo con la normatividad emitida por el Ministerio de Salud y Protección Social”.

Ahora pues, al Servicio Geológico Colombiano (SGC) también le fueron otorgadas competencias relacionadas con el sector nuclear y radiológico, el Decreto número 4131 de 2011 determina que es función de esta entidad “garantizar la gestión segura de los materiales nucleares y radiactivos en el país”, así como “coordinar proyectos de investigación nuclear”. También, “Fijar las tarifas de todos los servicios de licenciamiento y control para la gestión de materiales nucleares y radiactivos en el país”.

Asimismo, mediante la Resolución número 90698 de 2014 de Ministerio de Minas y Energía, prorrogada en 2022, este ministerio delegó en el SGC “las funciones de autorizar la expedición, modificación, renovación, suspensión o revocatoria de autorizaciones para las actividades relacionadas con la gestión segura de los materiales radiactivos y nucleares en el territorio nacional, así como la de autorizar la realización de inspecciones programadas y de control, a las instalaciones que utilizan materiales radiactivos y nucleares”.

En adición, se han suscrito múltiples acuerdos internacionales en materia radiactiva y nuclear, por lo que se ha generado un marco jurídico interno que busque el cumplimiento de los compromisos internacionales adquiridos, normas entre las que se encuentran:

Norma internacional	Norma nacional
Principios fundamentales de seguridad, Colección de Normas de Seguridad del OIEA Nº SF-1, OIEA, Viena (2007)	Ley 599 de 2000 (CODIGO PENAL): Artículos 358, 361 a 363 y 367, penalizan la importación, adquisición, exportación, tenencia, suministro, tráfico, transporte y eliminación de sustancias radiactivas, así como el uso de isótopos radiactivos, hechos sin las respectivas autorizaciones. Prohíbe la introducción de desechos nucleares al país. Penaliza conductas que pongan en peligro el funcionamiento de las instalaciones nucleares.
Código de Conducta sobre la seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas y Directrices complementarias sobre la importación y exportación de fuentes radiactivas, Circular informativa INFCIRC/663, IAEA, Viena (12 de enero de 2006) Directrices complementarias sobre la importación y exportación de fuentes radiactivas, InfCirc 663, OIEA, Viena, 12 de enero de 2006.	Resolución No. 181419 DE 2004 del MME por la cual se reglamenta la expedición de la Licencia de Importación de Materiales Radiactivos.
Principios fundamentales de seguridad, Colección de Normas de Seguridad del OIEA Nº SF-1, OIEA, Viena (2007). Establece 10 principios. Marco Gubernamental, Jurídico y Regulatorio para la Seguridad, Requisitos de Seguridad Generales, Colección de Normas de Seguridad del OIEA No. GSR Part 1 (Rev. 1), OIEA, Viena (2017).	Ley 599 de 2000 (CODIGO PENAL): Artículos 358, 361 a 363 y 367, penalizan la importación, adquisición, exportación, tenencia, suministro, tráfico, transporte y eliminación de sustancias radiactivas, así como el uso de isótopos radiactivos, hechos sin las respectivas autorizaciones. Prohíbe la introducción de desechos nucleares al país. Penaliza conductas que pongan en peligro el funcionamiento de las instalaciones nucleares. Numeral 12 del Artículo 2º del Decreto 381 de 2012: “Formular la política nacional en materia de energía nuclear y de materiales radiactivos”. Números 22 a 23 del Artículo 6º del Decreto No. 1617 de 2013 por el cual se modifica y adiciona el Decreto 381 del 16 de febrero de 2012: “22. Autorizar la expedición, modificación, renovación, suspensión o revocatoria de autorizaciones para las actividades relacionadas con la gestión segura de los materiales radiactivos y nucleares en el territorio nacional. 23. Autorizar la realización de inspecciones programadas y de control, a las

Norma internacional	Norma nacional
	instalaciones que utilizan materiales radiactivos y nucleares, con una periodicidad establecida en correspondencia con el riesgo inherente a los mismos”. Resolución No. 90698 del MME de 2014 por medio de la cual se delegan unas funciones al Servicio Geológico Colombiano (funciones de licenciamiento y control de los usuarios de materiales radiactivos exceptuando las instalaciones radiactivas y nucleares del mismo Servicio Geológico Colombiano).
Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad, Colección normas de Seguridad No. GSR Part 3, IAEA, Viena (2016).	Resolución No. 181434 del MME de 2002 por la cual se adopta el Reglamento de protección y seguridad radiológica. Resolución 482 de 2018 de Ministerio de Salud, por la cual se reglamenta el uso, control de calidad, de equipos generadores de radiación ionizante, y la prestación de servicios de protección radiológica.
Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 7, IAEA, Viena (2015).	Resolución No. 90874 del MME de 2014 por medio de la cual se establecen los requisitos y procedimientos para la expedición de autorizaciones para el empleo de fuentes radiactivas y de las inspecciones de las instalaciones radiactivas. Resolución No. 41226 del MME de 2016 por medio de la cual se modifica la Resolución 90874 del MME de 2014.
Gestión previa a la disposición final de desechos radiactivos, Colección Normas de Seguridad No. GSR Part 5, IAEA, Viena (2010).	Política para la Gestión de Desechos Radiactivos de 2009. Guía para la Gestión de desechos radiactivos producidos en Medicina Nuclear (Clase 2 Muy Baja Actividad). Resolución No. 180005 del MME de 2010 por la cual se adopta el Reglamento para la gestión de los desechos radiactivos en Colombia.
Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. SSR-5, IAEA, Viena (2011).	Resolución No. 41178 del MME de 2016 por medio de la cual se modifica y adiciona la Resolución 18 0005 de 2010.

ANTECEDENTES NORMATIVOS

En otro aspecto, con anterioridad se han presentado diversos proyectos de ley relacionados con el uso y aplicaciones de materiales nucleares y radiactivos, muchos relacionados con la aprobación de los tratados internacionales y sus modificaciones suscritas por Colombia. En este sentido, se radicó en el año 2021 el Proyecto de Ley número 222 que buscaba modificar la Ley 1715 de 2014 “*por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional*” de modo que se reglamentaran las condiciones de la energía atómica o nuclear como fuente de generación tanto desde el aspecto técnico y operativo, como ambiental. Este proyecto de ley fue archivado en virtud de los tiempos contemplados por la Ley 5ª de 1992 para el trámite legislativo.

No obstante, ninguna de las iniciativas presentadas con anterioridad ha buscado crear una agencia regulatoria que emita la reglamentación que recoja las diversas aplicaciones de los materiales nucleares y radiactivos, como ha sido solicitado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). De modo, que se brinden seguridad jurídica a los explotadores, y se garantice de forma más efectiva la protección de los ciudadanos colombianos.

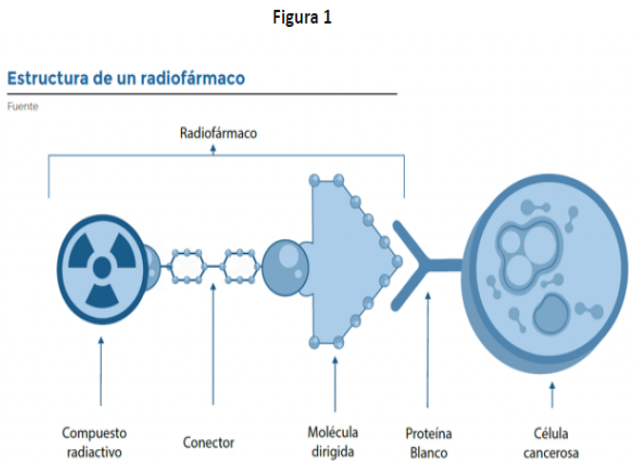
Teniendo en cuenta los diferentes usos de las aplicaciones nucleares y de las fuentes de radiación ionizante en Colombia, a continuación, abordamos en la presente exposición de motivos los principales hitos que se buscan atender con el desarrollo de este proyecto de ley.

1. SALUD PÚBLICA

La evolución tecnológica de la medicina nuclear ha sido fundamental para el diagnóstico oportuno y tratamiento de enfermedades como el cáncer. El

desarrollo creciente de las estrategias terapéuticas, relacionadas con el uso de isótopos con aplicación médica, permite que un tumor maligno pueda ser detectado incluso antes de ser visible en estudios de imágenes, como una resonancia nuclear magnética o una tomografía axial computarizada. Por su parte, en el área de la radioterapia oncológica, el uso de la radiación ionizante hace posible tratar con precisión la presencia de tumores, incluso en zonas anatómicas de difícil acceso (Jacob, 2023).

Hay que resaltar que Colombia no es autosuficiente en la producción de isótopos con aplicaciones médicas y debe importar todos aquellos que son producidos en reactores nucleares de investigación, debido a que el reactor nacional IAN-R1 no cuenta con la capacidad para tal fin. Eso ha llevado a que en diferentes momentos de la historia del país hayamos pasado por momentos de escasez de dichas sustancias, como ocurrió durante el atentado de la Torres Gemelas en 2001, en la Pandemia por COVID-19, así como en noviembre de 2022, momento en el cual, según la Asociación Colombiana de Medicina Nuclear, el 85% de las unidades de medicina nuclear del país experimentaron una suspensión temporal de sus actividades y más de 3000 pacientes con impresión diagnóstica de cáncer y de enfermedades cardiovasculares no pudieron ser atendidos (Granados Gómez, 2021). Esta crisis se desató debido a que los reactores nucleares internacionales, de los que tradicionalmente Colombia importa estos insumos, en ese momento entraron en parada técnica (NME, 2022). Estos isótopos son insumos indispensables para la fabricación de los radiofármacos en el país. Y es se debe resaltar que, estas moléculas son fundamentales para el diagnóstico oportuno y el tratamiento de diferentes tipos de cáncer. Ver Figura 1. Para producirlos es necesario contar con átomos como el tecnecio-99m, el lutecio-177 y el yodo-131. Estos elementos son radiactivos y, a las dosis apropiadas, son capaces de evidenciar con precisión la actividad metabólica de los tumores y también consiguen eliminarlos.



Lamentablemente, específicamente para estos isótopos, Colombia no cuenta con la tecnología para su producción y debe importarlos, por tanto, dependemos en un 100% de la disponibilidad del mercado internacional. Así las cosas, de los países de América Latina que tienen reactores nucleares de investigación, Colombia es el único que no produce radioisótopos en su reactor. La evidencia señala que

existen diversos isótopos con aplicación médica, que son fundamentales para el tratamiento de diversos tipos de patologías tumorales, por ejemplo: cáncer de tiroides, tumores neuroendocrinos, cáncer de próstata, y también es útil en algunos tipos de metástasis óseas (Gravestock, 2023). Algunos isótopos pueden usarse en el estudio y seguimiento de las enfermedades cardiovasculares permitiendo desarrollar pruebas como la gammagrafía de perfusión miocárdica con tecnecio-99m.

En América Latina, los países con mayor cantidad de reactores de investigación son Argentina (5), Brasil (4) y Perú (2). En tanto que Colombia, y Chile cuentan ambos con un reactor cada uno. No obstante, mientras el de Colombia opera con una potencia de 0.03 MW, el de Chile cuenta con una potencia 166 veces superior (5 MW). En la actualidad, Bolivia se encuentra construyendo un reactor de investigación que operará a 0.2 MW (Rosatom, 2023). Los detalles de la producción por país se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 Producción por país

Reactores de energía, investigación y ciclotrones en algunos países
Uso de la capacidad térmica instalada para la investigación por línea de aplicación

Fuente: Cálculos de IDOM con base en información del OREA

	Colombia	Brasil	México	Perú	Argentina	Chile
Reactores de investigación	1	4	2	2	5	1
Potencia (MW)	0,1	5,1	1,0	10	10,5	5,0
Estado de desarrollo del sector nuclear	Capacidades limitadas. La potencia no permite la fabricación de radioisótopos.	Capacidad en generación de energía y amplias capacidades en investigación.	Capacidad en generación de energía, en formación, activación y radioisótopos.	Amplias capacidades en investigación, incluyendo la producción de radioisótopos.	Tiene tecnología nuclear propia. Es autosuficiente en producción de radioisótopos.	Capacidades en investigación enfocadas principalmente en medicina y minería.
Radioisótopos						
Educación y formación						
Análisis de activación de neutrones						
Geocronología						
Otras aplicaciones						
Ciclotrones	6	14	8	2	9	2
Potencia máxima (MeV)	16	30	18	17	42	18
Potencial producción de radioisótopos en ciclotrón	F-18D-15C-11; N-13, Na-22 y V-48	F-18D-15C-11; N-13, Na-22, V-48 y otros 5 radiofármacos	F-18D-15C-11; N-13, Na-22 y V-48 y otros 7 radiofármacos	F-18D-15C-11; N-13, Na-22, V-48 y otros 5 radiofármacos	F-18D-15C-11; N-13, Na-22, V-48 y otros 5 radiofármacos	F-18D-15C-11; N-13, Na-22, V-48 y otros 5 radiofármacos

La alta sensibilidad y especificidad de los procedimientos de la medicina nuclear han impulsado el crecimiento sostenido de las unidades de esta especialidad en el país, desde el año 2010. Según el Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio de Salud, a febrero de 2024 estaban habilitados 110 centros de medicina nuclear y 12 centros de producción de radionúclidos. En 2023 había 23 centros con tomografía por emisión de positrones (PET/CT), 63 centros de tratamiento con radiación ionizante en 22 ciudades, un total 92 equipos de radioterapia externa y 31 equipos de braquiterapia. Ver Tabla 2 y 3. El número de instalaciones que se encuentran en operación segmentadas por tipo de práctica que realizan, se puede evidenciar en la Tabla 4.



Aunque el país tiene un reactor nuclear de investigación (IAN-R1) desde 1965, por su baja potencia (0.03MW) no logra generar isótopos para aplicaciones médicas. A diferencia de lo que sucede en países de la región como Perú, Brasil y Argentina, quienes cuentan con reactores nucleares de investigación capaces de producir estos recursos. En la sección 3.5.2 se muestran detalles de cómo se producen estos radioisótopos

Otras limitantes para la medicina nuclear en Colombia son: la alta concentración de servicios de medicina nuclear en las capitales de la Región Andina del país, la ausencia de una dependencia específica para el manejo de radiofármacos en el Invima y dificultades en los tiempos de trámites de aduana en la importación de isótopos. Ver Figuras 2, 3 y 4. Este último asunto es crítico debido a que los isótopos con aplicación médica, a diferencia de los medicamentos, experimentan un decaimiento radiactivo, lo cual hace que cada hora que transcurre entre la llegada a la aduana y a un servicio de medicina nuclear sea muy valioso (Murcia, 2021). Un ejemplo claro sucede con los generadores de molibdeno-99, los cuales a las 66 horas tienen la mitad de su actividad (Hasan, 2020).

Las limitaciones que experimentan los servicios de medicina nuclear en Colombia están vinculadas con dificultades en la claridad normativa, y en la falta de sinergia y coherencia entre los organismos de inspección, vigilancia y control. Existen algunos procesos que podrían formularse de una manera más eficiente, por ejemplo, como ocurre con los protocolos del sistema de gestión de desechos, los cuales demandan una alta inversión económica que puede influir en la oferta del servicio y repercutir en el control integral del cáncer de tiroides. Entre las oportunidades de mejora se encuentran la unificación de criterios entre los auditores, la delimitación de funciones de los actuantes, la asistencia técnica para cumplir con la normativa, y la veeduría a los organismos de inspección, vigilancia y control por parte de los entes reguladores. La medicina nuclear en Colombia tiene múltiples desafíos institucionales, normativos y económicos, que suponen un riesgo para desarrollo y mantenimiento de la atención oncológica (Murcia,2021).

Dentro de las especialidades médicas que utilizan radiación ionizante se encuentran la radiología y la medicina nuclear, solamente la primera se encuentra regulada y nuestro país carece de programas académicos de radiofarmacia. Es fundamental que el país actualice su marco normativo para poder acceder a mejores tecnologías y proyectos de investigación, cooperación técnica del OIEA.

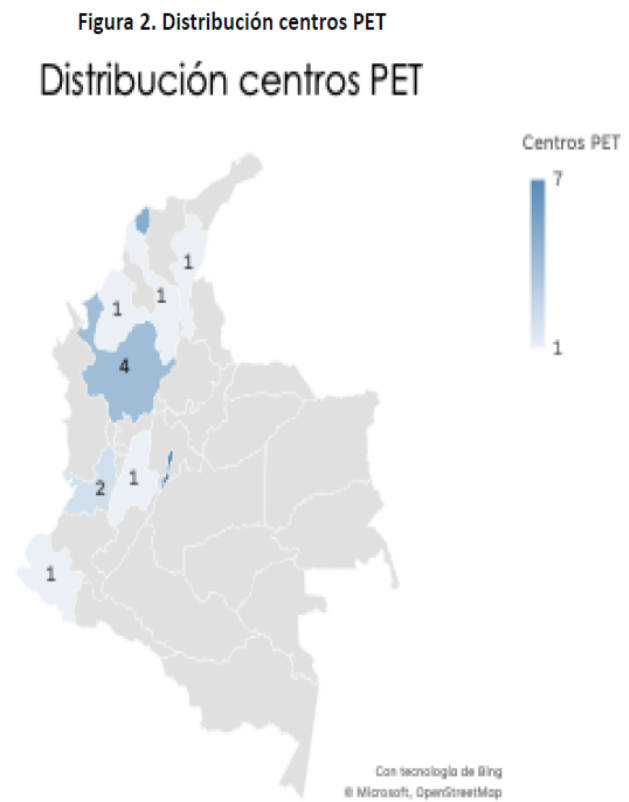


Figura 3. Radiofarmacia En Colombia

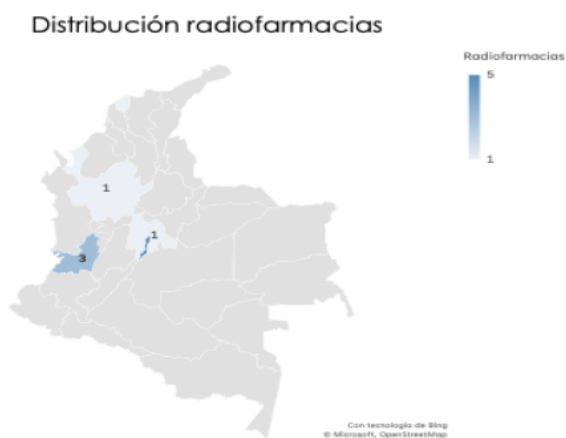
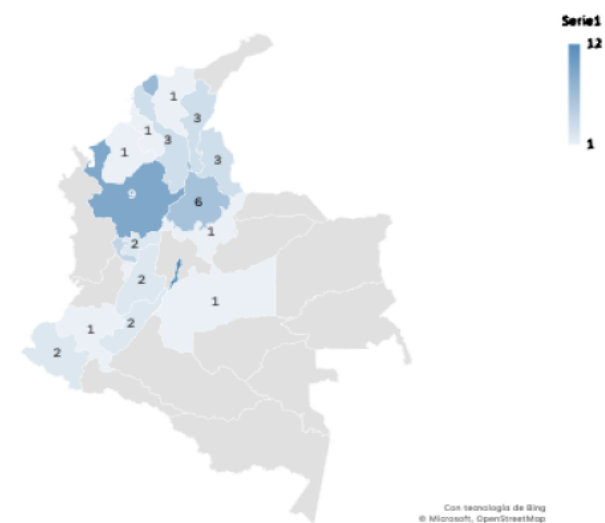


Figura 4. Radioterapia en Colombia

Distribución centros de radioterapia



Por otro lado, el cáncer infantil es un grupo de enfermedades que requiere los servicios de medicina nuclear para su abordaje diagnóstico y terapéutico. En Colombia, la supervivencia de estos pacientes está en un rango de 50-55% a diferencia del norte global que supera el 80%. Así como ocurre en los adultos, en la población infantil los radioisótopos pueden utilizarse para identificar tumores cancerosos, evaluar la extensión de la enfermedad y monitorear la respuesta al tratamiento. Garantizar un manejo integral para esta población vulnerable es una prioridad, la medicina nuclear hace parte de ese abordaje, por lo que garantizar una legislación robusta en la materia es fundamental.

Colombia como Estado Miembro del OIEA, se beneficia del programa de cooperación técnica, siendo este el mecanismo principal del por el que se realiza transferencia de tecnología nuclear a los Estados Miembros y se les ayuda a manejar prioridades en materia de desarrollo en ámbitos como la salud y la nutrición, la alimentación y la agricultura, el agua y el medio ambiente, las aplicaciones industriales, y el desarrollo y la gestión de los conocimientos nucleares. Adicionalmente, El programa facilita a los Estados Miembros asistencia en la mejora de la seguridad radiológica y la seguridad física nuclear. Los proyectos de cooperación técnica del OIEA proporcionan conocimientos especializados en ámbitos en que las tecnologías nucleares ofrecen ventajas sobre otros enfoques, o en que pueden ser un complemento útil a los medios convencionales. Todos los Estados Miembros tienen derecho a recibir apoyo mediante proyectos de cooperación técnica, aunque en la práctica estos proyectos suelen centrarse en las necesidades y las prioridades de los países menos adelantados. En el área de salud humana entre 1986 y 2023, Colombia ha participado en 17 proyectos nacionales y 45 proyectos regionales e interregionales fomentando la transferencia de tecnología, la capacitación de recursos humanos, así como el intercambio de experiencias y buenas prácticas. Hay que resaltar que, por parte del OIEA a través de los últimos cinco proyectos nacionales en el área de salud, como son: COL6014, COL6015, COL6016, COL6017 y COL6018, equivalen a 1 828 028 EUR (IAEA, 2023).

0. SECTOR AGROPECUARIO

En el presente apartado indicamos algunos de los diferentes usos de las aplicaciones nucleares en la agricultura y la ganadería. Estos usos tienen relevancia en el cumplimiento de normas internacionales para el acceso a nuevos mercados y en la potenciación de los ya existentes.

2.1 Técnica del Insecto estéril (TIE)

Han sido muchos los avances en el control de brotes infecciosos en el último siglo y uno de ellos es esta aplicación nuclear. Esta es una estrategia para el control de plagas de insectos, que utiliza la cría masiva y la esterilización, por medio de la radiación de los insectos causantes de enfermedades. Una vez esterilizados, se procede a la liberación de los machos desde el aire, en unas zonas previamente definidas, donde se aparean con hembras silvestres

sin que haya descendencia, con lo que se reduce la población causante de la plaga. La irradiación utilizada proviene de fuentes con rayos gamma o rayos X, y logra esterilizar insectos machos que siguen siendo sexualmente competitivos, pero no pueden reproducirse. Por tanto, en lugar de usar aspersiones tóxicas en los ecosistemas para conseguir la reducción de las diversas poblaciones de mosquitos, esta tecnología nuclear consigue disminuirlas de manera selectiva. La técnica del insecto estéril, o TIE, es considerado como uno de los métodos de control de plagas de insectos más respetuosos con los ecosistemas y no está relacionada con técnicas de transgénesis. Este método se desarrolló en los Estados Unidos y se ha utilizado con buenos resultados durante más de 6 décadas y en la actualidad se realiza en todos los continentes. Las cuatro opciones estratégicas en las que es útil la TIE son: la supresión, la erradicación, la contención y la prevención (Kapranas, 2022).

La TIE ha demostrado su eficacia en el manejo de diversas plagas de insectos importantes, entre los cuales se encuentran: a. La mosca de la fruta (la mosca mediterránea de la fruta, la mosca mexicana de la fruta, la mosca oriental de la fruta y la mosca del melón), b. La mosca tsetsé, c. El gusano barrenador del ganado, d. Las polillas (el gusano de la pera y la manzana, el gusano rosado del algodón, la palomilla falsa, la polilla del nopal y la polilla pintada australiana de la manzana) y también en el caso de los mosquitos como el aedes egipci. En varios países donde se ha aplicado la tecnología, se han realizado estudios de evaluación económica que han mostrado resultados satisfactorios (FAO, 2023).

2.2 Irradiación de alimentos y semillas

Dentro de este grupo de tecnología se encuentra la irradiación de alimentos, la cual facilita conservar por mayor tiempo y en mejor estado los que exportamos. Estas condiciones mejoran las condiciones fitosanitarias de los productos y por tanto favorece su competitividad.

Desde el inicio de la agricultura, la humanidad ha enfrentado dos problemas: las plagas y la conservación de los alimentos. Para atender estas dificultades, han surgido múltiples tecnologías que han permitido, durante 10, 000 años, que esas dos situaciones no impidan alimentar a la mayoría de la humanidad. Ahora bien, a pesar de los adelantos tecnológicos, aproximadamente un tercio de todos los alimentos producidos a nivel mundial se pierde o se desperdicia, según los datos de la FAO, y los costos globales asociados a los daños de los cultivos, por la acción de diferentes patógenos, supera los 70.000 millones de dólares al año (P.Loaharanu, 2022).

2.2.1 Descripción de la técnica

Hace más de cincuenta años surgió una técnica fitosanitaria que aprovecha la energía de los núcleos de los átomos del cobalto-60 y permite prolongar la vida de carnes, frutas y verduras: la radiación de alimentos con rayos gamma. Con ella se neutralizan las bacterias patógenas y se reduce el riesgo de enfermedades relacionadas con la ingesta de alimentos.

La radiación modifica el proceso de deterioro de la comida, lo que facilita preservarla más tiempo y garantiza un grado mayor de inocuidad y calidad (Edris, 2015). Esta tecnología nuclear también es un método apto para el control de plagas, pues mantiene la seguridad fitosanitaria de los productos frescos que se comercializan en el mercado internacional, al impedir que los insectos y otras plagas se desarrollen y se reproduzcan. Esta técnica, que igualmente se puede efectuar con rayos X, no altera el valor nutricional de los alimentos ni convierte a los alimentos en radiactivos (Bhawna, 2022).

Actualmente, existen más de 135 centros en 47 países que irradian alimentos y unos 60 estados permiten el consumo de productos irradiados, entre los que se encuentran: carnes, pescados, mariscos, bulbos, tubérculos, cereales, legumbres y semillas de diferentes especies. La evidencia ha demostrado que, así como la pasteurización o la refrigeración, la irradiación es una técnica que permite conservar los alimentos en mejores condiciones por más tiempo al suprimir los microorganismos que podrían ser lesivos para la salud humana (Sahil, 2024).

La irradiación consigue inactivar las larvas de *Trichinella spiralis*, que pueden contaminar la carne de cerdo y desencadenar una triquinosis. A su vez, es efectiva para controlar el género *Salmonella* y varios tipos de *Escherichia coli*. También actúa sobre las famosas lombrices solitarias (tenias) transmitidas por los cerdos y por el ganado vacuno, y sobre los parásitos *Anisakis* en el pescado (Indiarto, 2023).

En la región, países como Brasil, Cuba, Argentina y México irradian con éxito las producciones de guayaba, mango, papaya, semillas y carnes, lo que hace más competitivas sus exportaciones hacia Europa y usa. En Colombia la planta de irradiación gamma existente, desde 1972 en el Servicio Geológico Colombiano, no cuenta con la capacidad instalada para prestar servicios a escala industrial.

En la Tabla 5 se presentan algunos de los trabajos de investigación realizados en las instalaciones de la Planta de Radiación hoy regentada por el Servicio Geológico Colombiano con la participación de otras instituciones.

Tabla 5. Trabajos de investigación Planta de Radiación SGC

Algunos trabajos de investigación llevados a cabo en la Planta de Irradiación del SGC

Fuente

J.I. ARIAS. Introducción a la irradiación gamma de alimentos y desarrollo tecnológico en Colombia. Instituto de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares, N.º 1, pp. 5-14, 1974, C.R. de Llaneros 8, Chuaria, "Combinated Hospital Processes with Irradiation in the Area Investigated" "Preservation of Food Products in Bogotá" "Food Sci. Res. Vol. 11, N.º 1, 1988, pp. 179-184.

Trabajo de Investigación	Instituciones participantes	Resultados	Referencia
Consideraciones sobre la viabilidad de la construcción de una instalación gamma para operación comercial en la República de Colombia (ST-DRI-69-92). Anexo técnico sobre dos irradiación de frutas	IAN	Desconocidos para el autor	[14]
Aplicación de la técnica de radiación ionizante como tratamiento cuarentenario de frutas de exportación	ICA, Ingominas	Se validó el uso de radiación ionizante gamma como tratamiento cuarentenario en doce frutas de interés para el mercado de EE. UU.: tomate de árbol, mango, uchuva, pitahaya, granadilla, maracujá, feijoa, lulo, papaya, hawaiana, cubaba y guajaba. Sin respuesta adversa ni cambio en las propiedades organolépticas.	[14], [34]
Mutagenesis y mejoramiento genético del arroz, y genómica funcional en el mejoramiento del arroz	UD, Comillas	Se validó el uso de radiación ionizante gamma para la inducción controlada de mutaciones en especies de arroz. Se validó el uso de radiación ionizante gamma para el control de plagas en poscosecha en plantas aromáticas de exportación.	[35]
Efecto del tratamiento de irradiación en la calidad de albahaca, menta y romero, en poscosecha	U. NAL, Ingominas	Se irradiaron semillas de sachá inchi a 1, 5 y 8 kGy, con una disminución no significativa de los tocotrienos presentes en el aceite y un aumento también no significativo de los productos de oxidación lipídica. Se demuestra que la irradiación es un tratamiento adecuado y ecológico para la desinfección y conservación de esta semilla	[14], [36]
Physicochemical Properties of Oil Extracted from c-Irradiated Sacha inchi (Plukenetia volubilis L.) Seeds	U. NAL, SGC		[37], [38]

Fuente J.I. Abril, 2018

El uso de irradiación para eliminar microbios no es, ciertamente, una nueva tecnología, ya desde finales del siglo XIX diversos experimentos indicaron la efectividad de las radiaciones ionizantes en los microorganismos y desde 1916 se propuso usar la irradiación de alimentos como una forma de control fitosanitario. Sin embargo, los mayores avances en este respecto se han logrado en los últimos 50 años (Molins, 2001). De tal manera que, para el año 2009 más de 50 países ya habían aprobado la aplicación de esta técnica y más de 20 ya habían expedido normas en torno a la regulación necesaria (IAEA, 2023b). Así mismo, otras organizaciones estadounidenses avalan la seguridad en el consumo de los alimentos irradiados, como: La Agencia de Protección Ambiental, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, la Administración Nacional de Espacial y Aeronáutica, El Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos y los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC, 2023).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha estudiado el tema de la irradiación de alimentos e incluso lo ha regulado o ha asistido a países en su regulación. Tanto es así que se creó el Centro Conjunto FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en la Alimentación y la Agricultura. Así mismo la FAO ha investigado el tema de la irradiación de alimentos y ha tenido un papel en la regulación de esta práctica, así como en la asistencia a países en la creación de sus regulaciones. En este contexto desarrolló, un estándar para los alimentos procesados mediante radiación ionizante que se utiliza en conjunto con los códigos de higiene aplicables, estándares de alimentos y códigos de transporte, excluyendo aquellos alimentos expuestos a dosis impartidas por instrumentos de medición utilizados con fines de inspección (FAO, 2023). Ello para ejemplificar los rangos de dosis de radiación aplicados, dependiendo de cada uno de los productos tratados normalmente. Señalando, además, según la finalidad perseguida, sea la inhibición de la maduración o germinación y la eliminación de insectos, microbios, parásitos o bacterias, e indicando también el nivel de radiación que implica cada una de las dosis suministradas en la tabla 6.

Tabla 6. Aplicaciones radiación gamma en alimentos

Aplicaciones de la radiación gamma en alimentos

Fuente:

J.I. ARIAS. Introducción a la irradiación gamma de alimentos y desarrollo tecnológico en Colombia. Instituto de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares, N.º 1, pp. 5-14, 1974, C.R. de Llaneros 8, Chuaria, "Combinated Hospital Processes with Irradiation in the Area Investigated" "Preservation of Food Products in Bogotá" "Food Sci. Res. Vol. 11, N.º 1, 1988, pp. 179-184.

Aplicación de la irradiación en alimentos	Productos Tratados	Rango de dosis (kGy) [6], [72]	Nivel de la dosis suministrada [Bajo, medio, alto] [6]
Inhibición de la germinación	Papa, batata, cebolla, ajo	0,02-0,15	Bajo
Desinfestación de insectos y seguridad cuarentenaria	Granos, cereales, café, especias, frutas, productos de pescado, nueces deshidratadas, mango y papaya. Algunas Frutas y vegetales.	0,02-1	Bajo
Retraso de la madurez (raduración)	Papa, frambuesa	0,01-3	Bajo
Inactivación de parásitos y bacterias patógenas no esporuladas (radicidación)	Carnes, nueces, cereales, especias, etc. No deshidratados	0,3-8	Medio
Reducción de las cargas microbianas que causan deterioro, para extensión de la vida útil	Granos, cereales, especias, nueces, deshidratados, entre otros	1-10	Medio
Reducción de bacterias patógenas	Ingredientes deshidratados (especias, hierbas y condimentos)	1-20	Alto
Esterilización para extender el tiempo de vida de los productos y hacerlos estables a temperatura ambiente (radapertización)	Carnes de res, cerdo y ave	>25 (dependiendo del producto, la esterilidad se puede dar a partir de 10 kGy)	Alto

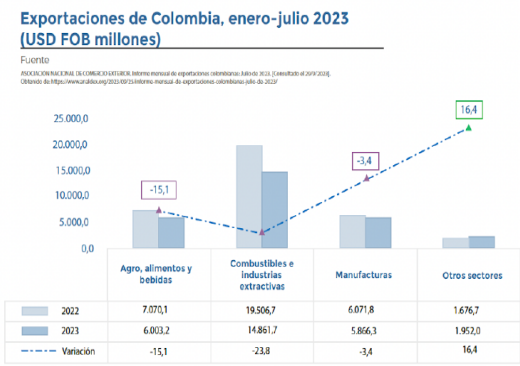
En conclusión, la irradiación de alimentos es un tratamiento comprobado y efectivo después de la cosecha que se ha utilizado durante varias décadas para mejorar la seguridad y la calidad de los alimentos. Sus ventajas se pueden resumir así:

1. Reducción de la contaminación bacteriana: la irradiación puede matar o reducir eficazmente las bacterias, parásitos y patógenos dañinos en los productos alimenticios. Esto ayuda a mejorar la seguridad de los alimentos al reducir el riesgo de enfermedades transmitidas por los alimentos.
2. Conservación de la calidad de los alimentos: la irradiación de alimentos puede extender la vida útil de los alimentos perecederos al ralentizar el crecimiento de microorganismos de descomposición y enzimas responsables de la degradación de los alimentos. Esto puede llevar a una reducción del desperdicio de alimentos y una mejora en la calidad del producto.
3. Inhibición de la brotación y la maduración: la irradiación se puede utilizar para controlar la brotación de papas, cebollas y otras verduras de raíz, así como para retrasar la maduración de frutas como mangos y papayas. Esto es particularmente útil para el almacenamiento a largo plazo y el transporte de tales productos.
4. Control de plagas: como tratamiento fitosanitario, la irradiación de alimentos puede ayudar a eliminar o controlar las plagas de insectos en granos, frutas secas y otros productos. Es una alternativa a la fumigación química y puede reducir la necesidad de pesticidas químicos.
5. Retención del valor nutricional: la irradiación de alimentos, cuando se usa adecuadamente, puede minimizar la pérdida de vitaminas y nutrientes esenciales en los productos alimenticios en comparación con otros métodos de conservación, como el tratamiento térmico.

2.2.2 Potenciales beneficios económicos de la implementación de la técnica en Colombia

Uno de los principales grupos de exportación que sustentan la economía del país son los del sector agropecuario, según la Asociación Nacional de Comercio Exterior (Analdex) de enero a julio de 2023: “En el corrido de 2023, las exportaciones agropecuarias se ubicaron en USD FOB 3.703 millones, presentando un decrecimiento de 14,5% frente al mismo periodo de 2022, cuando se alcanzaron ventas por un valor de USD FOB 4.332 millones”. Ver Tabla 7. Entre los productos que contribuyeron a este descenso se encuentran: café sin tostar (-27%), animales vivos (-29,7%), legumbres y frutas (-9,5%), y productos animales y vegetales (-1,6%). Por su parte, creció el valor de las ventas de corcho y madera (9,4%), cueros y pieles (7,8%) y semillas y frutos oleaginosos (20,5%)

Tabla 7. Exportaciones Agropecuarias Enero-Julio 2023



Fuente: ANALDEX, 2023

Así las cosas, el uso de la irradiación de alimentos puede tener aplicación en los mercados que se describirán a continuación:

2.2.3 Desinfección de alimentos, seguridad cuarentenaria y retraso de maduración:

La irradiación de alimentos con las dosis de radiación adecuadas, según los estudios, contribuyen de manera eficaz a la desinfestación y seguridad cuarentenaria en granos de café, cereales, especias, frutas, productos de pescado, nueces deshidratadas, mango y papaya (Bhatnagar, 2021). Esta técnica consigue desarrollar el retraso de la madurez -radurización- en la papa y la frambuesa.

En la Tabla 8, el número de toneladas exportadas por el país en 2021 y 2022 donde se puede observar el potencial comercial que tiene Colombia si decide implementar mayores estímulos a la irradiación de productos agrícolas.

Tabla 8. Toneladas exportadas productos agrícolas

Frutas

FUENTE: ASOCIACIÓN NACIONAL DE COMERCIO EXTERIOR. Informe mensual de exportaciones colombianas. Julio de 2023. (Consultado el 01/02/2025)

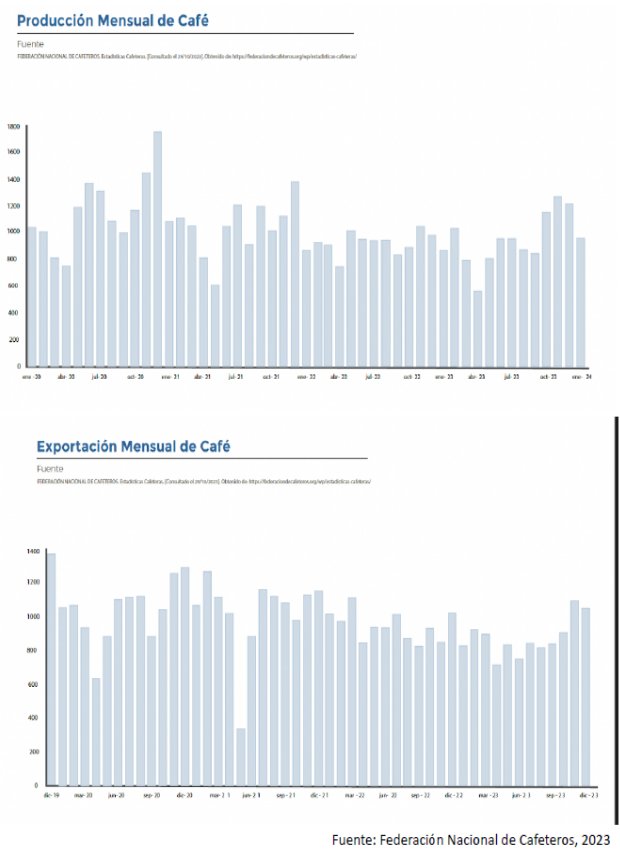
NANDA	Descripción NANDA	MILES DE TONELADAS NETAS ANUAL				ENERO			
		2021	2022	Var%	Par%	22	23	Var %	Par%
	Total general	2.441,40	2.573,40	5,4	100	194	59,4	-69,5	100
803901100	Bananas o plátanos frescos del tipo "cavendish variety"	2.093,20	2.213,00	5,7	86	171	37,4	-78,1	63,1
803101000	Plátanos "plátanos", frescos.	146,7	146,8	0,1	5,7	7,3	3,7	-49,8	6,2
804400010	Aguacates (palta), variedad Hass, frescos o secos.	96,4	97,9	1,6	3,8	8	9,2	14,8	15,4
805502200	Lima Tahiti (limón Tahiti) (citrus latifolia), frescos o secos.	39,3	52,6	33,9	2	3,5	4,3	22,2	7,2
810901030	Guilupa (maracujá morado) (Passiflora edulis var. edulis), frescas.	9,8	15,3	55,5	0,6	0,9	1,6	73,4	2,7
83901200	Bocallón (morus carolinensis) (Morus carolinensis), frescos.	9,5	11,2	18,7	0,4	0,4	0,3	-29,6	0,5
805100000	Naranjas frescas o secas.	17,5	10,4	-40,4	0,4	1,2	0,8	-34,8	1,4
810903000	Uchuvas (lunilla) (Physalis peruviana) frescas.	79,9	6,5	-91,8	0,3	0,6	0,9	38,2	1,5
804300000	Piñas tropicales (ananas), frescos o secos.	6,6	5	-23	0,2	0,6	0,29	-73,1	0,3
804502000	Mangos y mangos secos.	2,4	2,4	-0,1	0,1	0,1	0	-64,7	0,1
811909900	Las demás frutas y otros frutos sin cocer o cocidos con agua o al vapor, congelados.	1,1	1,5	36,8	0,1	0	0,1	27,1	0,2
807110000	Sandías frescas.	1,1	1,1	-4,6	0	0,1	0,1	-6,2	0,2
810901010	Granadilla (Passiflora ligularis), frescas.	1,3	1,1	-17,1	0	0,1	0,1	7,4	0,2
804000090	Los demás aguacates (palta), frescos o secos.	0,5	0,7	27,2	0	0	0	56,7	0
	Las demás	6,1	6,1	-25,4	0,2	0,4	0,6	49,1	1,1

Fuente: ANALDEX, 2023

La producción mensual de café en Colombia en diciembre de 2023 tuvo un repunte que llegó a 1220000 sacos de 60 kg de café, muy por encima de los 566000 que se produjeron en abril del mismo año. A su vez la exportación de grano mantuvo un crecimiento sostenido desde mayo de 2023, donde la cifra fue de 723000 sacos de 60 kg para llegar a

los 1105000 en noviembre del mismo año. (FNC, 2023). Ver tablas 9 y 10.

Tabla 9 y 10. Producción y Exportaciones Mensuales de Café 2020-2024



Se ha documentado que el cambio climático y los patrones cambiantes que lo acompañan están modificando las condiciones que antes fueron adecuadas para las plantas de café en muchas áreas de cultivo tradicionales (Ahmed, 2021). Es claro que, la incidencia de la roya del café, una enfermedad que mata los cafetos, está aumentando.

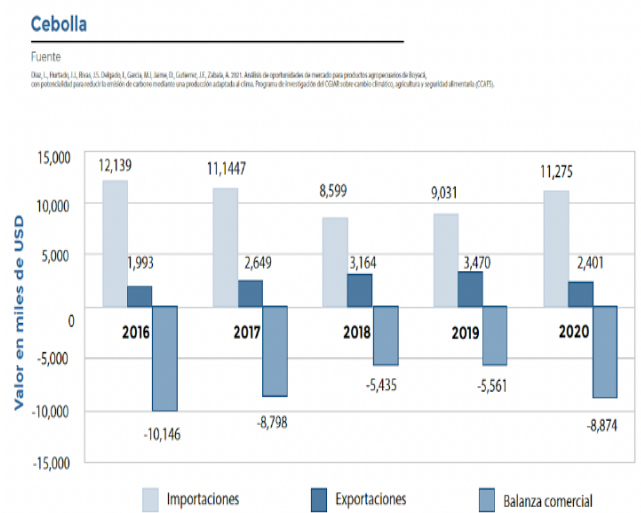
El OIEA, en asociación con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), ha estado trabajando para reducir el estrés de la roya de la hoja del café en los cafetos utilizando técnicas nucleares. Por primera vez en el OIEA, se está capacitando a expertos en el uso de técnicas de fitomejoramiento para desarrollar variedades de café que sean resistentes al hongo que causa la roya del café. Esta capacitación es parte de un Proyecto de Investigación Coordinada de cinco años en el que científicos de seis países están realizando investigaciones sobre variedades de plantas de café resistentes a enfermedades. Actualmente Portugal alberga el Centro de Investigación sobre la Roya del Café (CIFC). En el CIFC se han evaluado alrededor de 3.600 muestras de roya del café procedentes de 40 países de todo el mundo, donde los científicos identificaron 50 tipos diferentes de roya del café en 23 variedades del cafeto. En el marco del proyecto del OIEA se identificaron tres nuevos tipos del patógeno de la roya del café. La investigación de esta colección mundial de roya del café facilitará la identificación de una variedad de planta de café que sea resistente a la roya del café, una tarea

ardua considerando la variedad de especies de roya del café (Guerra, 2023).

Tal y como se señaló, la irradiación de alimentos puede utilizarse también para la Inhibición de la germinación de productos que exporta Colombia, como la papa, cebolla y ajo. En ese sentido, se señalan las gráficas XXX de la balanza comercial de la cebolla y de la papa así como las observaciones de los principales gremios al respecto, a efectos de indicar el posible impacto positivo en esos mercados de la utilización de tecnologías nucleares sobre estos alimentos. En lo relativo a la exportación de papa se evidencia que, desde el cierre del mercado con Venezuela en el año 2009, el nivel de las exportaciones ha permanecido con un promedio de 1.930 toneladas enviadas a mercados externos. Desde el 2019 se viene marcando una curva ascendente en el nivel de exportaciones con una tasa de crecimiento promedio del 18% (FNFP, 2022).

En cuanto al posible crecimiento del mercado el Plan de Negocios de Cebolla: Programa de Transformación Productiva, publicado por Colombia Productiva, Asohofrucol y el Fondo Nacional para el Fomento de la Horticultura un aumento del mismo hasta llegar a superar los 3.749 millones de dólares en 2029, es decir un 56% por encima de 2020. Ver tabla 11

Tabla 11. Balanza Comercial de la Cebolla 2016-2020

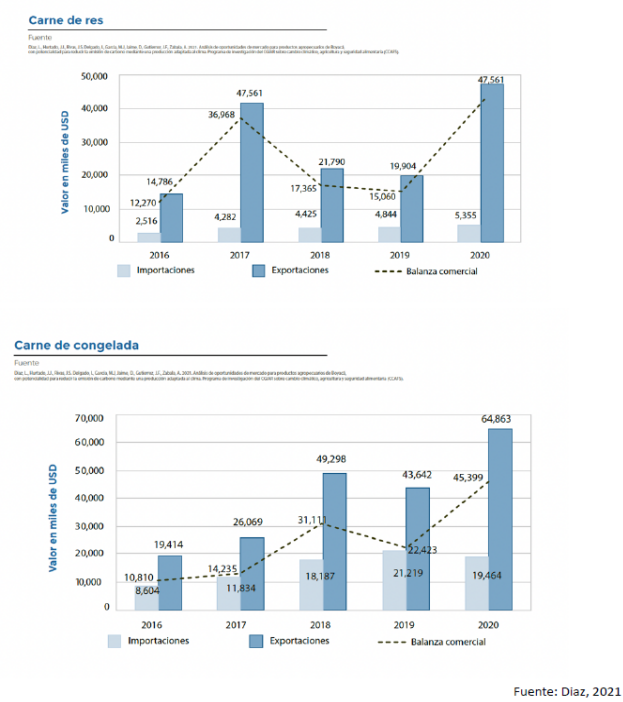


2.2.4 Inactivación de parásitos y bacterias patógenas no esporuladas y esterilización para extender el tiempo de vida de los productos y hacerlos estables a temperatura ambiente:

Resulta relevante también señalar la aplicación de la irradiación, con el propósito de extender el tiempo de vida de los productos como las carnes de res, cerdo y aves. Esta tecnología consigue hacerlos estables a temperatura ambiente (radapertización). En un mismo sentido, también se emplea para la inactivación de parásitos y bacterias patógenas no esporuladas (radicación), por ejemplo, en carnes, nueces, cereales y especias. En las tablas 12 y 13 se presentan las balanzas comerciales crecientes de la

carne refrigerada y de la carne congelada entre los años 2016 a 2020. Tablas 11 y 12.

Tablas 11 y 12. Balanzas Comerciales de la Carne Refrigerada y Carne Congelada 2016-2020



0. APLICACIONES AMBIENTALES

La crisis ambiental global es uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad. Las perturbaciones al balance energético de la tierra, mediadas por la acumulación de los gases efecto invernadero de origen antrópico, están provocando eventos dentro de los cuales se encuentran: la acidificación del océano, modificaciones en el ciclo del agua, un aumento del nivel del mar y el surgimiento de fenómenos meteorológicos extremos cada vez más frecuentes. Se ha conseguido demostrar que, de los 9 límites planetarios descritos por la ciencia, 6 han sido sobrepasados (Richardson, 2023).

Las tecnologías nucleares son instrumentos fundamentales en la monitorización de varios límites planetarios, en la adaptación al cambio climático y en la reducción de emisiones de gases efecto invernadero. A continuación, se describirán algunas de las tecnologías en diferentes regiones del mundo:

3.1 Uso eficiente de los fertilizantes con la ayuda del nitrógeno-15

Gracias a los fascinantes descubrimientos de Justus von Liebig en el siglo XIX, los humanos entendimos que las plantas absorben el nitrógeno con la ayuda de los microorganismos presentes en el suelo (Liebig, 1831). Este hallazgo permitió pensar en estrategias, para incrementar el rendimiento de los cultivos, a base de fertilizantes químicos, y fue así como llegamos a la revolución verde, un suceso que aumentó exponencialmente la producción agrícola global. Ese avance llegó acompañado de un efecto indeseable: la perturbación de los ciclos del nitrógeno y del fósforo. Las plantas comenzaron a absorber más nitrógeno, igualmente lo hicieron los microbios del suelo. La absorción y el metabolismo por parte de estos microorganismos son los

responsables principales de que los niveles de óxido nitroso atmosférico (N₂O) hayan aumentado un 20% respecto a los niveles preindustriales. El óxido nitroso no solo tiene un elevado potencial de calentamiento global, sino que, además, es un gas nocivo para la capa de ozono, que puede permanecer en la atmósfera más de cien años (K.A. Smith, 2017). Se ha demostrado que, a escala global, los cultivos absorben menos del 40% de los fertilizantes aplicados, mientras que el 60% restante se pierde en la atmósfera, en fuentes hídricas, o permanece en el suelo de forma que los cultivos no captan. Este desperdicio no solo supone un problema económico, sino un impacto ambiental muy relevante para la estabilidad ecológica del planeta (Scheer, 2023). Las emisiones de nitrógeno y fósforo derivadas de las actividades agrícolas y otras industrias, y que se dispararon a mediados del siglo pasado, han llegado a niveles riesgosos. Los ciclos del nitrógeno y del fósforo son tan importantes, que su estabilidad forma parte de los reconocidos límites planetarios. Existe, por tal motivo, un enorme desafío: realizar un uso eficiente y responsable de los fertilizantes.

Gracias al uso de fertilizantes marcados con isótopos de nitrógeno-15 -es decir, un átomo con un neutrón adicional en comparación con el nitrógeno que aparece en la tabla periódica-, los científicos pueden rastrear los isótopos para determinar con qué grado de eficiencia los cultivos absorben el fertilizante. Esta técnica nuclear también ayuda a determinar la cantidad óptima de fertilizante que debe suministrarse. En estudios desarrollados con el apoyo de la FAO y del OIEA en Myanmar, se ha verificado que la técnica del nitrógeno-15 usada en los cultivos de arroz permite un ahorro aproximado de un 30% de fertilizantes y una reducción de un 20% de la pérdida de fertilizante en el ambiente. En Botsuana, los especialistas en suelos se encuentran verificando los beneficios de la técnica de nitrógeno-15 en los cultivos de pimiento verde, espinaca y otros cultivos hortícolas. Los resultados obtenidos en los cultivos de repollo, en Vietnam, con la técnica de nitrógeno-15 demostraron que, la mitad del fertilizante aplicado se perdía en el ambiente, contaminando el agua y creando problemas de seguridad alimentaria (Jenny Norman, 2015). Podemos concluir que esta tecnología nuclear es una aliada para enfrentar la crisis ambiental global.

3.2 Monitorización de la acidificación del océano y de la salud de los ecosistemas marinos

A medida que el océano absorbe el dióxido de carbono (CO₂) liberado a la atmósfera por las actividades humanas, la química de los carbonatos y la acidez del agua de mar se modifican en un proceso conocido como acidificación del océano. Si bien esto deja menos dióxido de carbono en la atmósfera y limita sustancialmente el cambio climático, la acidificación de los océanos, a la que a veces se hace referencia como el “otro problema del CO₂”, se ha convertido en un problema mundial clave en la última década debido a su potencial para afectar

a los organismos marinos y ciclos biogeoquímicos (Kroeker, 2013).

Las técnicas nucleares e isotópicas se utilizan para estudiar la acidificación de los océanos y han contribuido a comprender este campo, en cuanto a la investigación de cambios pasados en la acidez de los océanos y de los impactos de la acidificación del océano en los organismos marinos, y mediante procesos biológicos como la calcificación.

Actualmente el OIEA impulsa el uso de radioisótopos estables y naturales para observar las fuentes y el destino de la materia orgánica y comprender el papel de los océanos en el ciclo global del carbono. En el laboratorio de radioecología del Organismo se consigue medir el flujo de carbono hacia las profundidades del océano directamente capturando el material mediante trampas de sedimentos similares a pluviómetros e indirectamente utilizando radionucleidos naturales (torio-234, uranio-238, polonio-210 y plomo-210) que adsorben el material que se hunde en su camino hacia el fondo marino. La aplicación de estas herramientas en una variedad de entornos oceánicos, como las zonas de afloramiento y en las regiones polares, ayuda a determinar el alcance de este flujo de hundimiento y evaluar su sensibilidad al cambio climático (IAEA, 2024).

Asimismo, las tecnologías nucleares e isotópicas se han descrito para evaluar tasas de procesos biológicos en organismos marinos, como mejillones, ostras y corales. Por ejemplo, los isótopos de boro naturales se pueden utilizar para estudiar cambios pasados en el pH del agua de mar. Diversos grupos de investigación miden sus cantidades relativas en los esqueletos de coral formados hace miles de años para evaluar la acidez del agua de mar en el pasado. Los isótopos de calcio también se utilizan para estudiar las tasas de calcificación (para la creación de conchas y esqueletos) y otros procesos (Drylie, 2019).

3.3 Monitorización de Materiales Radiactivos de Ocurrencia Natural también conocidos como NORM

Los radionucleidos de origen natural contenidos o liberados a partir de diversos tipos de materiales pueden representar un riesgo para los trabajadores, el público o el medio ambiente. Estos elementos radiactivos que se encuentran en minerales y menas se denominan materiales radiactivos de ocurrencia natural, NORM (por sus siglas en inglés). Algunos materiales NORM requieren control y regulación de la radiación (Boguslaw Michalik, 2023).

Las concentraciones de actividad de los radionucleidos en las rocas y el suelo en la naturaleza suelen ser bajas. Ciertos minerales, incluidos algunos que se explotan comercialmente, contienen uranio, torio o potasio en concentraciones elevadas. Pero, durante la extracción de minerales y su procesamiento, los radionucleidos pueden distribuirse de manera desigual entre los diversos materiales que emergen del proceso. Estas actividades

humanas pueden aumentar significativamente la concentración de radionucleidos NORM a nuestro alrededor. Los NORM asociadas con estas actividades industriales pueden existir de muchas formas: pueden ser minerales, materias primas de proceso, productos intermedios, productos finales, subproductos o residuos de procesos. Puede estar en forma sólida, líquida o gaseosa.

Otra fuente de radiación ionizante natural es el radón. Este elemento es un gas radiactivo invisible e inoloro que se libera de forma natural y del agua. Puede entrar en las edificaciones a través de pequeñas grietas o agujeros y posteriormente, se acumula en el aire de los hogares. La inhalación crónica de altos niveles de radón puede causar cáncer de pulmón. Ver Figura 5. Dependiendo de la actividad del radón siendo un emisor α tiene la capacidad de generar daños alveolares cuando se respira de forma prolongada y sus productos de decaimiento plomo-210 y polonio-210 tienden a quedar dentro del sistema respiratorio en una condición de doble daño dada su toxicidad y radiactividad la cual ha sido catalogada por la OMS como la segunda mayor causa de cáncer a nivel global (Degu Belete, 2021).

Las cifras de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) señalan que el radón causa aproximadamente 21 000 muertes por cáncer de pulmón cada año en los Estados Unidos y es la segunda causa de muertes por cáncer de pulmón en el mundo, después del tabaquismo. Las personas que fuman y están expuestas al radón tienen un riesgo 10 veces mayor de presentar cáncer de pulmón por exposición al radón en comparación con las personas que no fuman y están expuestas a los mismos niveles de radón. Desafortunadamente en Colombia no contamos con los datos suficientes que permitan formular una estrategia de salud ambiental frente a esta situación (EPA, 2023).

Figura 5. Exposición al Radón



Es importante señalar que la legislación en materia de seguridad nuclear y protección radiológica permitirá avanzar y profundizar en fuentes que pueden generar radiactividad natural por diferentes tipos de materiales, por ejemplo:

- Extracción de tierras raras
- Producción y uso de torio y sus compuestos
- Producción de niobio y ferro-niobio

- Minería que no sea minería de uranio
- Producción de gas y petróleo
- Manufactura de pigmentos de dióxido de titanio
- Industria fosfato
- Arenas de zirconio y materiales refractarios
- Combustión de carbón
- Tratamiento de aguas

Todos estos procesos pueden ocasionar exposición al personal expuesto, trabajadores, público en general y daño al medio ambiente por tanto debe evaluarse aspectos como:

- Exposición ocupacional.
- Exposición del público
- Protección del ambiente.
- Transporte de material radiactivo.
- Residuos: opciones de disposición final.
- Control de descargas

3.4 *Análisis por activación neutrónica*

El análisis por activación neutrónica es un método identificación de isótopos y fracción de masa en una muestra desconocida basado en la medición de la radiación característica de los radionucleidos que se forman al irradiar materiales con neutrones.

El Análisis por Activación Neutrónica (AAN) es un método de análisis químico multielemental que envuelve dos procesos físicos independientes, la excitación nuclear de los elementos por captura de neutrones y la medición de la radiación gamma inducida, producto del decaimiento radiactivo de los núcleos activados (Leah Minc, 2008). El análisis por activación neutrónica se basa en que la energía de la radiación gamma liberada por el decaimiento de los núcleos radiactivos es única para cada isótopo irradiado lo cual permite su identificación. La técnica de AAN se realiza casi exclusivamente en reactores nucleares de investigación que generan los neutrones requeridos para activar las muestras. El tipo de materiales que pueden ser estudiados pueden contribuir a la investigación en medicina, la nutrición, la biología, la agronomía, la química, la ciencia forense, geociencias y en general es de gran importancia para investigaciones ambientales, evaluando los contaminantes de diferentes matrices biológicas, suelos, rocas, sedimentos, y materiales de tipo ambiental en general.

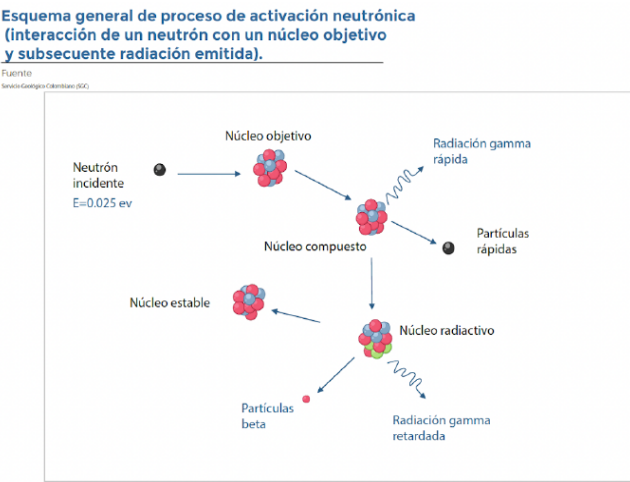
En el caso del reactor IAN-R1, la excitación de la muestra se da por medio de la exposición a un alto flujo de neutrones térmicos, utilizando un reactor nuclear con una potencia máxima de operación de 0.03MW, que origina una reacción nuclear de captura neutrónica, dejando los núcleos de los elementos que componen la muestra en un estado excitado. Cada elemento activado en la muestra emite una huella digital de radiación gamma (γ), que puede ser medida y cuantificada mediante el uso de detectores semiconductores apropiados. La técnica AAN se utiliza en la determinación multielemental de casi

cualquier material y especialmente en matrices ambientales a partir de una pequeña cantidad de muestra, el método es altamente selectivo y sensible para un amplio rango de elementos (Byrne, 1993).

Después de que la muestra es debidamente preparada, esta es introducida en una posición de irradiación dentro del núcleo del reactor. Los neutrones interactúan con los núcleos de los átomos de la muestra y de este modo, se convierten en núcleos radiactivos que decaen hasta un núcleo estable en un tiempo de vida específico, emitiendo rayos gamma con energía característica medidos y cuantificados por espectrometría gamma. La medición de rayos gamma puede ser usada tanto para identificar como para cuantificar los núclidos presentes en la muestra (Alghem Hamadatou, 2019).

En la Figura 6 se muestra como el núcleo objetivo captura el neutrón, y se genera un núcleo radiactivo, el cual emite radiación gamma retardada, con una energía característica. Esta última propiedad, permite la identificación inequívoca de los elementos que componen la muestra, mientras que la medición de la cantidad de fotones emitidos, permite cuantificar el elemento presente en la muestra irradiada.

Figura 6. Esquema general de proceso de activación neutrónica (interacción de un neutrón con un núcleo objetivo y subsecuente radiación emitida).



El análisis por activación neutrónica puede hacerse de varias maneras, según el elemento y los niveles de radiación correspondientes que se midan, así como de la naturaleza y la magnitud de la interferencia de otros elementos presentes en la muestra. Los métodos empleados son en su mayoría no destructivos y se basan en la detección de la radiación gamma emitida por el material irradiado durante su irradiación o con posterioridad. Después de las actividades de capacitación, el análisis por activación neutrónica es la aplicación de los reactores de investigación más ampliamente difundida en el mundo.

Los costos que supone el establecimiento de un laboratorio de análisis por activación neutrónica son relativamente bajos si se comparan con los costos de los instrumentos de dispersión neutrónica. Como muchos de los usos relacionados con la determinación de elementos traza (definición de elementos en

concentración baja empleados, por ejemplo, para el análisis de alimentos y recursos hídricos, medicina, etc.) pueden relacionarse directamente con posibles beneficios económicos, el análisis por activación neutrónica es un componente clave de la mayoría de los planes estratégicos asociados con los reactores de investigación.

3.5 La producción de radioisótopos generados en los reactores nucleares de investigación

Los radioisótopos son isótopos de un elemento químico que contienen un exceso de energía, que liberan en forma de radiación. Pueden producirse natural o artificialmente, principalmente en reactores de investigación y aceleradores. Los radioisótopos se utilizan en distintos ámbitos, como la medicina nuclear, la industria, la agricultura y la investigación.

3.5.1 Antecedentes históricos en Colombia

En Colombia la producción de radionúclidos en el Reactor Nuclear de Investigación IAN-R1, inició a finales de los años 60, alcanzando su mayor productividad en la década de los 80, y finalizó en 1992 debido al cambio del combustible del reactor nuclear y la modernización de los sistemas de control, proceso que se llevó a cabo desde 1993 hasta 1997 (H. Múnera, 2011). Este último año coincidió con el cierre del Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas (INEA), encargado de su operación en esa época, y desde entonces, pese a que dicho reactor fue reactivado en 2005, no se producen radionúclidos por esta vía en el país.

A pesar de la situación actual, es necesario destacar que el Plan de Desarrollo Nuclear, PDN, esbozado durante la Administración Betancurt (1982-1986) se plantearon tres etapas para la consolidación de esta tecnología: - Etapa I, 1985-2002, Optimización y Conversión del Reactor Nuclear IAN-R1: orientada a la utilización de un combustible de bajo enriquecimiento (LEU 20% U3O8) y elevación de potencia hasta un 1 MW, producción de radioisótopos y aplicación intensiva de las técnicas analíticas nucleares. - Etapa II, 2002-2022, Diseño y Construcción de un Centro Nuclear de Investigación y Producción: construcción de un nuevo reactor multipropósito y evaluación integral de la prefactibilidad de la capacidad de generación nucleoelectrónica. - Etapa III, 2022-2035, Reactor Nuclear de Potencia: Introducción del país en la Era de la Nucleoelectricidad. Es evidente que, ninguna de las etapas descritas se cumplió.

Después de varios años de operación, en 1992 se presentó un proyecto de modernización, repotenciación (0.1MW) y rediseño de la facilidad nuclear, el cual contó con la asistencia técnica del Gobierno de los Estados Unidos de América, el OIEA y el Gobierno de la República de Colombia mediante los Proyectos COL/4/011, COL/4/012 y COL/4/013 y el proyecto de Renovación del Reactor IAN-R1 con recursos nacionales situados por el Departamento Nacional de Planeación, DNP. El 29 de agosto de 1997 con la asistencia del

OIEA, funcionarios del antiguo INEA y expertos de la General Atomics, compañía constructora, es puesto a crítico nuevamente el Reactor IAN-R1 adoptando la moderna tecnología TRIGA (Training, Research and Isotopes, General Atomics) que ofrece reactores de operación inherentemente seguros. Un cambio sustancial se relaciona con el reemplazo del combustible anterior del tipo enriquecido (HEU, 90% U3O8) a uno de menor enriquecimiento (LEU, 20% U3O8) atendiendo consideraciones de orden técnico y geopolítico. Después, cumpliendo el Decreto 1682 de 1997 empieza la liquidación del Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas, INEA (Decreto número 1682 de 1997) y sus funciones en tecnología nuclear se asumen por Ingeominas (Decreto número 1452 de 1998). A partir del 13 de agosto de 1998, mediante la Resolución número 1050 expedida por la Dirección General del Ingeominas, se crea la Unidad de Energía Nuclear y Asuntos Afines la cual asume entre otras las labores el mantenimiento y preservación de las condiciones de seguridad física y nuclear de la instalación. En la actualidad las responsabilidades del manejo seguro y aprovechamiento integral de la instalación nuclear y el despliegue de sus usos pacíficos recaen sobre el Servicio Geológico Colombiano, además el artículo 3° del Decreto número 4131 señaló, entre otros elementos, como objeto del Servicio Geológico Colombiano los de garantizar la gestión segura de los materiales nucleares y radiactivos en el país; coordinar proyectos de investigación nuclear, con las limitaciones del artículo 81 de la Constitución Política, y, el manejo y la utilización del reactor nuclear de la Nación. En Colombia se tiene el único reactor nuclear, el Reactor Nuclear de investigación IAN-R1 de la Dirección de asuntos Nucleares del Servicio Geológico Colombiano.

3.5.2 Producción de radioisótopos en reactores nucleares de investigación.

El objetivo principal de los reactores de investigación es proporcionar una fuente de neutrones para la investigación y otros fines. Su salida (haces de neutrones) puede tener diferentes características según el uso. Son pequeños en comparación con los reactores de potencia cuya función principal es producir calor para producir cantidades útiles de electricidad. Son esencialmente usuarios netos de energía. Su potencia se designa en megavatios (o kilovatios) térmicos (MWt). La mayoría alcanza hasta 100 MWt, en comparación con los 3.000 MWt (es decir, 1.000 MWe) de un reactor de potencia típico.

Se utilizan para producir radioisótopos, ampliamente utilizados en la industria y la medicina, bombardeando elementos concretos con neutrones de modo que se añade un neutrón al núcleo objetivo. Por ejemplo, las microesferas de itrio-90 para tratar el cáncer de hígado se producen bombardeando itrio-89 con neutrones. Mundialmente el isótopo más utilizado en medicina nuclear es el tecnecio-99m, un producto de la desintegración del molibdeno-99. Esto generalmente se produce irradiando un

objetivo de lámina de uranio con neutrones (durante aproximadamente una semana) y luego separando el molibdeno-99 de los otros productos de fisión del U-235 en una celda caliente; el Mo-99 representa aproximadamente el 6% de los productos de fisión. La mayor parte de la producción de Mo-99/Tc-99m se ha realizado utilizando objetivos de uranio altamente enriquecido, pero cada vez se prefiere más el uranio de bajo enriquecimiento y se está eliminando gradualmente el de alto enriquecimiento (Hasan, 2020). El molibdeno-99 tiene una vida media de 66 horas y decae progresivamente hasta tecnecio-99m, el cual tiene una vida media de 6 horas. Luego se une a una proteína particular para administrarla al paciente.

Los radioisótopos se producen en reactores de investigación irradiando blancos con neutrones térmicos para que sean absorbidos y luego se hace un proceso de radioquímica para aislar el radioisótopo que se busca para la aplicación práctica. También se utilizan aceleradores de partículas con el fin de desarrollar nuevos radioisótopos para el diagnóstico y la terapia en la medicina nuclear, para la realización de ensayos no destructivos y aplicaciones industriales de radiotrazadores, así como para estudios con radiotrazadores en la investigación científica.

En general los radioisótopos tienen aplicaciones para en los procesos químicos y biológicos para investigar el ambiente, realizar la determinación de los procesos en cuanto a la contaminación en cuanto origen natural o antropogénico, estudiar los flujo y movilidad en estudios de elementos disueltos o suspendidos en ríos, estuarios, playas costeras, acuíferos, vertederos de residuos, hidrocarburos, carbón, petróleo, gas o reservorios geotérmicos (T. Ruth, 2009). Este tipo de radionúclidos permiten avanzar en la optimización de las eficiencias en procesos de descontaminación en diferentes fuentes y evaluar la eficiencia de descontaminación aplicada en plantas de tratamiento de aguas residuales y el comportamiento de los lodos que se generan durante dichos tratamientos.

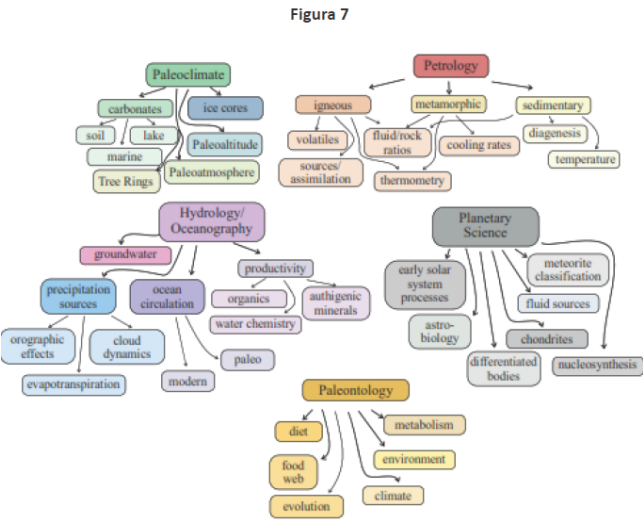
3.6 ESTUDIOS DE ISÓTOPOS ESTABLES EN INVESTIGACIONES AMBIENTALES

Los isótopos estables son formas de átomos considerados no radiactivos. Aunque no emiten radiación, sus características permiten el uso en un gran espectro de aplicaciones, dentro de las cuales se destaca la gestión de los recursos hídricos y del suelo, estudios ambientales, estudios de evaluación nutricional y también de ciencias forenses.

Se conoce que ochenta de los primeros 82 elementos de la tabla periódica tienen isótopos estables. Cuantificar y analizar su distribución permite muchas aplicaciones prácticas. Se pueden utilizar isótopos estables midiendo sus cantidades y proporciones en muestras, por ejemplo, en muestras de agua. Los isótopos estables del agua y de otras sustancias naturales, son utilizados para rastrear su origen, los sumideros y las diferentes interacciones en los ciclos del carbono, nitrógeno y

el agua (Tea, 2021). Los isótopos estables también se pueden utilizar como trazadores, que se añaden deliberadamente a un sistema que se va a estudiar, como en la agricultura o la nutrición. Por ejemplo, el deuterio, un isótopo dos veces más pesado que el hidrógeno, utilizado predominantemente en la investigación sobre nutrición, y también está el nitrógeno-15, un isótopo estable utilizado con frecuencia en la agricultura (IAEA, 2019). El IAEA ayuda a los Estados Miembros a utilizar técnicas basadas en isótopos en áreas como la hidrología, los estudios ambientales y la agricultura, entre otras.

Como se muestra en la Figura 7 el estudio de los isótopos estables tienen múltiples usos en el análisis del sistema climático. Estas investigaciones isotópicas son de gran relevancia en los estudios del cambio climático porque permiten investigar en las emisiones de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O) y el metano (CH₄) y comprender los cambios ambientales que se dan en el océano.



criptón-81) para que los gobiernos gestionen mejor sus recursos fluviales y subterráneos.

La hidrología isotópica útil para calcular la edad y la sostenibilidad de los recursos hídricos. Cuando el agua subterránea de un acuífero se ha documentado como “antigua”, se considera que el flujo del agua es lento y el acuífero puede tardar un tiempo prolongado en recargarse. En el caso contrario, las aguas subterráneas jóvenes se renuevan rápidamente con el agua de lluvia, aunque pueden ser altamente susceptibles a la contaminación y a los cambios en las condiciones del clima. En hidrología, se usan radioisótopos naturales del agua, como el tritio (^3H) el carbono-14 y radioisótopos de gases nobles, para estimar la edad del agua subterránea, que puede estar en un rango de unos meses hasta millones de años. Dado que estos isótopos decaen con el paso del tiempo, su abundancia disminuye a medida que pasan los años. Cuanto más altos son los niveles, más joven es el agua, y cuanto más bajo, más antigua. Por ejemplo, el agua subterránea con cantidades detectables de tritio puede llegar hasta los 60 años aproximadamente, mientras que si no contiene este isótopo seguramente es más antigua. El tritio se usa para datar el agua subterránea que acaba de recargarse, es decir, que no supera los 60 años de edad, a su vez, el carbono-14 se utiliza para datar aguas de hasta 40 000 años de antigüedad y el kriptón-81, para aquellos acuíferos que pueden llegar a un millón de años (Ideam, 2023).

Los contaminantes en las aguas superficiales y subterráneas vienen de diversas fuentes, como la agricultura, la industria o los excrementos humanos, o pueden estar presentes de forma natural por procesos geoquímicos dados en los acuíferos. La agricultura, la industria y los hogares producen distintos tipos de contaminantes. Analizar la composición isotópica del contaminante, permite determinar su origen. Un ejemplo interesante es el del ion nitrato (NO_3^-), compuesto de nitrógeno y oxígeno, un contaminante común. Se sabe que el nitrógeno tiene dos isótopos estables de distinto peso y estos valores no son los mismos en la materia fecal y en los fertilizantes. De tal suerte que, esta situación permite identificar la fuente de la emisión del ion nitrato (Matiatos, 2021).

En Colombia, los primeros estudios de hidrología isotópica datan de mediados de la década de 1970 (IAEA, 1989). La mayoría de los estudios hidrológicos isotópicos llevados a cabo en nuestro país en los años 80 y 90 del siglo pasado estuvo concentrada en pocos entes, sobresaliendo los extintos Instituto de Asuntos Nucleares (IAN), Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas (INEA), y el Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras o Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química (Ingeominas), predecesores del hoy Servicio Geológico Colombiano (SGC). Desde inicios del presente siglo, una mayor variedad de entidades colombianas ha incorporado en su agenda de trabajo las técnicas nucleares aplicadas a hidrología, entre ellas, algunas corporaciones autónomas regionales y la academia. En los últimos ocho años, han ocurrido tres hechos que están motivando el uso de las técnicas isotópicas en Colombia: (1) la implementación de la Red Nacional

de Isotopía (RNI), operada por el Ideam con el concurso de otras instituciones colombianas; (2) la incorporación de las técnicas isotópicas en los estudios de impacto ambiental en el marco de solicitudes de licenciamiento ambiental para proyectos mineros, promulgada por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), y (3) el fortalecimiento del Laboratorio de Análisis de Isótopos Estables en Agua Líquida (LAIE) del SGC. (IDEAM, 2023).

3.6.2 Técnicas isotópicas para el estudio de la calidad del aire

Una gran variedad de elementos posee dos o más isótopos estables, átomos no radioactivos de un elemento químico que tienen el mismo número de protones, pero diferente número de neutrones y por lo tanto diferente masa. Estos elementos se encuentran ampliamente distribuidos por todo el planeta en forma de diferentes moléculas constituyendo trazadores naturales de los procesos fisicoquímicos que ocurren en el ambiente (Steven & Hedges, 2008). Las relaciones isotópicas más destacada son las de elementos ligeros tales como: (C, H, O, N y S), debido a que tienen rasgos que los hacen fácilmente cuantificables, como su baja masa atómica, diferencia grande de masa entre sus isótopos, forman enlaces de carácter covalente y además el carbono, nitrógeno y azufre existen en más de un estado de oxidación teniendo la capacidad de formación de múltiples compuestos (Newton & Bottrell, 2007).

Los estudios ambientales de material particulado proveniente de diferentes fuentes de combustión se encuentran dentro de las aplicaciones más importantes para las determinaciones isotópicas. Las fuentes identificadas mediante estas determinaciones son la combustión de energéticos fósiles, quema de biomasa y formación secundaria de carbono orgánico. Este tipo de partículas son ampliamente estudiadas, dados sus efectos adversos para la salud e impactos climáticos importantes. Con isótopos estables de carbono-13 se puede obtener información sobre las posibles fuentes de emisión. (Garbarien et al., 2020).

Para comprender mejor los procesos en la baja troposfera y cómo se transfieren los contaminantes de la atmósfera a los ambientes terrestres y marinos, también se usa el estudio de los flujos de radionucleidos, como el berilio-7, el cesio-137 y el plomo-210. Estos son producidos por rayos cósmicos (cosmogénicos), por actividades humanas (antropogénicos) u ocurren naturalmente en la Tierra. El berilio-7, por ejemplo, se produce de forma natural. Sus tasas de producción en la atmósfera son relativamente constantes, lo que ayuda a identificar procesos en la atmósfera que influyen en la deposición de este radionucleido en la Tierra. De esta forma, se puede utilizar como trazador (Y.C. Kong, 2022).

4. APLICACIONES INDUSTRIALES, MINERÍA Y MANUFACTURA

En Colombia se tienen varias aplicaciones de fuentes radiactivas empleadas en la industria, tales como: la radiografía industrial, medidores nucleares móviles, medidores nucleares fijos y el uso de radiotrazadores. Las aplicaciones de estos equipos

son muy amplias en el sector económico del país. En el tema de manufactura de materias primas, los medidores se emplean para medir el espesor del papel, medición de películas delgadas como el polipropileno bio-orientado, medición de llenado de materias primas para la fabricación del polipropileno en la industria de los plásticos, contenido de humedad en el cemento y el carbón, medidores de hidrocarburos en los equipos de perfilaje de pozos, medición de humedad y cenizas en el carbón, entre otros. En general, también se pueden utilizar los medidores nucleares para la explotación de recursos naturales y su prospectividad (IAEA, 2005).

Los medidores nucleares, llamados también NCS (Nucleonic Control Systems) comenzaron a implementarse a nivel mundial aproximadamente hace 40 años y partir de este momento ha sido vertiginosa su expansión en diversas aplicaciones. En algunos casos se han ido reemplazando en algunas tareas los medidores nucleares por otros dispositivos “no nucleares” que emplean radiación infrarroja, ultrasonido, laser o inclusive rayos X, pero muchas veces son irremplazables porque la radiación ionizante que proviene de las fuentes tiene la capacidad de interactuar con la materia prima y emplearse para medir cualquier espesor y densidad. Además, son sistemas que no requieren de alimentación eléctrica y pueden utilizarse de manera segura en ambientes explosivos o corrosivos (por ejemplo, cuando están expuestos a la intemperie). Adicionalmente, por la eficiencia de los detectores empleados presentan medidas confiables y de gran precisión.

El otro grupo de fuentes radiactivas a nivel industrial que son utilizadas ampliamente a nivel nacional son las de radiografía industrial, considerada como la práctica con mayor riesgo radiológico debido a la alta actividad asociada a la fuente en comparación con otros medidores industriales. Los irradiadores empleados son de tipo móvil porque se tienen que desplazar al lugar donde se va a realizar la evaluación radiográfica, donde la fuente radiactiva se debe desplazar fuera del contenedor para efectuar las tomas radiográficas. En Colombia, desde hace más de 40 años, después de liquidado el IAN (Instituto de Asuntos Nucleares) se han formado empresas de ensayos no destructivos que realizan la práctica de gammagrafia industrial dentro de su portafolio de servicios. Otras técnicas de ensayos no destructivos que la complementan son: el ultrasonido, las tintas penetrantes y los rayos X industriales. Ver Tabla 13.

4.1 APLICACIONES CON MEDIDORES NUCLEARES FIJOS Y MOVILES

Los medidores nucleares han sido ampliamente usados en las industrias para mejorar la calidad de sus productos, optimizar los procesos de producción y ahorrar energía ya que estos sistemas no requieren de conexiones eléctricas. Cada vez se implementan y se utilizan nuevos medidores nucleares a la industria y se emplean nuevos isótopos que cubran las necesidades en cuanto a la energía de emisión, tiempos de semidesintegración convenientes, una electrónica más rápida, detectores más eficientes y computadores más veloces para procesar la información. En Estados Unidos y en general en los países industrializados se

ha demostrado los beneficios económicos al utilizar medidores nucleares en los procesos, lo cual incide en el aumento de la cantidad de medidores nucleares, que son alrededor de cientos de miles en todo el mundo. A medida que pasan los años y la tecnología avanza, se requieren en las fuentes magnitudes de actividad cada vez menores, debido a la compensación que presentan los nuevos detectores que se fabrican con una mayor eficiencia, gracias al empleo del modelamiento y la simulación de las interacciones de la radiación con la materia. Esta situación permite reducir los niveles de exposición a la radiación de los trabajadores y por ende del público en general.

Tabla 13. Relación de aplicaciones industriales de los medidores nucleares y el uso de técnicas asociadas a los tipos de radiación utilizada (IAEA, 2005). En Colombia se implementan más del 90% de estas aplicaciones.

Applications	Techniques	FIELDS OF APPLICATION						
		Civil Engineering	Packaging	Plastic, Paper & Pulp	Metal Processing	Chemical & Petrochemical	Safety	Miscellaneous
Level / Fill	γ transmission		X	X	X	X		X
	n backscatter			X		X		
Thickness and Area Weight	γ transmission			X				
	β transmission			X	X		X	
	γ backscatter			X				
	β backscatter			X	X			X
Density	XRF			X	X			X
	γ transmission	X	X	X				X
Bulk Weight	γ backscatter	X						X
	γ transmission	X						
Fluid Flow	γ transmission single + multi-energy					X		X
	γ transmission	X						
Moisture	n transmission	X						X
	n moderation	X						X
	PGNAA	X						X
Analysis	γ transmission	X					X	X
	XRF				X	X		X
	Ionisation						X	X

La configuración de un medidor nuclear consiste en ubicar fuentes radiactivas dentro de un sistema blindado que permite su obturación controlada para emitir un haz de radiación que incide sobre una muestra para determinar una variable física en particular; por ejemplo, su densidad, su espesor, su humedad, el nivel de llenado, etc.

Los medidores nucleares han sido una herramienta decisiva en el ahorro de recursos en las metodologías de ensayos no destructivos para la industria del gas y el petróleo. En Colombia, las compañías de prospección y explotación de hidrocarburos los ha utilizado para determinar la existencia y concentración de hidrocarburos por medio de la radiación gamma combinada con la radiación neutrónica. Para tal fin, se necesita tener un detector que mide el número de interacciones que arriban a un material sensible. Cuando la muestra se encuentra entre la fuente radiactiva y el detector se llama un medidor nuclear de transmisión y cuando la fuente radiactiva y el detector se encuentran en el mismo lado, el medidor nuclear es de retrodispersión.

Los medidores nucleares pueden ser fijos o móviles, de acuerdo a su finalidad. Los parámetros de seguridad de los irradiadores empleados deben cumplir con las normas de seguridad para fuentes radiactivos. Los medidores nucleares se encuentran categorizados con base en su actividad como medidores industriales (IAEA,2000).

4.1.1Medidores nucleares fijos

En Colombia, estos medidores se encuentran actualmente en las industrias petroquímica y de plásticos en la zona industrial de Mamonal en el departamento de Bolívar, en la industria papelera en el municipio de Jumbo en el Valle del Cauca, en las embotelladoras de cerveza a lo largo del país, en la industria de vidrios

y manufacturas de fibras derivadas del petróleo localizadas en las zonas industriales de Bogotá, Cali, Medellín, en industrias de alimentos o café como la Liofilizadora de la Federación Nacional de Cafeteros en Chinchiná, en las Refinerías de Cartagena (Mamonal) y Barrancabermeja. Otros medidores fijos se encuentran instalados en las plantas de producción de concreto y cemento.

Las fuentes radiactivas que más se utilizan en nuestro medio son el cesio 137, el cobalto 60, el estroncio 90, el Kriptón 85, el americio 241 y el americio berilio 241.

Los medidores fijos se encuentran usualmente anclados dentro de una línea de producción y tienen asociada una electrónica especial que envía la señal que evidencia la cantidad de interacciones producidas en el detector. Los medidores nucleares se encuentran licenciados ante la autoridad reguladora y se deben realizar procedimientos de verificación y mantenimiento periódico para evitar fugas de material radiactivo y descalibraciones del sistema de detección.

La información recolectada es enviada a computadoras que pueden tomar acciones, por ejemplo, en el rechazo de productos (por ejemplo, en el llenado de botellas de cerveza), parada de la producción por aumento o disminución de una variable (por ejemplo, cambio de espesor de cartón fabricado en una línea de producción).

4.1.2 Medidores nucleares móviles

Los medidores nucleares móviles son utilizados en diversas áreas de la industria y en laboratorios para hacer mediciones de densidad, flujo de líquidos, humedad o espesor de un sólido. Para tal fin, estos equipos contienen las fuentes radiactivas fijas dentro del irradiador permitiendo una condición más segura de trabajo, ya que cuando se pone en operación el medidor solamente se activa un obturador que da paso al haz útil de radiación. El haz de radiación cuando incide sobre la materia prima, la radiación es retrodispersada y posteriormente registrada en el detector que también se encuentra dentro del medidor (técnica de medición por retrodispersión).

Los medidores nucleares móviles más comunes y de mayor cantidad en uso, son los llamados densímetros nucleares, que consisten en dos fuentes radiactivas de actividades menores a 50 mCi. La primera es una fuente emisora de radiación gamma que sirve para medir la densidad de la muestra y la otra fuente es emisora de neutrones que facilita la medición simultánea de la humedad. Esta condición es muy útil para medir sobre pilas de minerales, el suelo y adicionalmente para establecer el espesor y calidad del pavimento en carreteras y en infraestructuras de obras civiles. Otros medidores son calibrados para medir escoria en minerales o las cenizas contenidas en minerales de carbón, por ejemplo, en la industria del acero en Paz del Río, Boyacá y en la explotación del níquel en Cerromatoso, Córdoba.

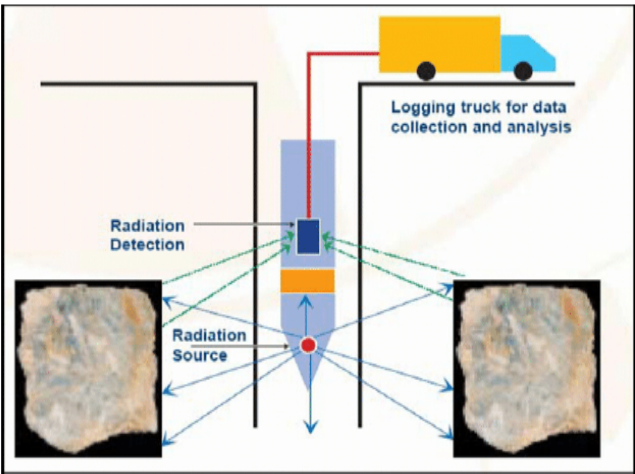
4.1.3 Fuentes radiactivas para perfilaje de pozos (well logging)

A diferencia del densímetro nuclear que realiza mediciones superficiales para analizar la densidad y la humedad en máximo un metro de profundidad,

los equipos de perfilaje de pozos necesitan tener información de los pozos a varios metros de profundidad donde se presentan los fenómenos geológicos. De tal manera, que la sonda utilizada para hacer perfilaje de pozos se desplaza a lo largo de un pozo, y se conecta con un cable que mide la información telemétrica que llega a un centro móvil (vehículo especializado) para luego ser interpretada por un computador. A medida que va profundizando la sonda va registrando las cuentas medidas por el detector, creando un perfil de información vital para tomar decisiones sobre la explotación del subsuelo (IAEA, 2020).

También se utilizan fuentes radiactivas de cesio 137 y de Americio – Berilio 241. Para lugares de difícil acceso se pueden utilizar dispositivos móviles que son guiados teleméricamente y van registrando en tiempo real la información sobre el terreno.

Figura 8. Perfilaje de pozos con uso de fuentes radiactivas



4.1.4 Trazadores radiactivos

La técnica de trazadores radiactivos es el uso de sustancias radiactivas con propiedades físicas, químicas y biológicas que permiten identificar y estudiar el comportamiento de un sistema dinámico de la naturaleza, especialmente en estudios hidrológicos y transporte de sedimentos. Los trazadores radiactivos son fabricados en reactores nucleares de investigación y dentro de sus propiedades es que sean elementos de corta vida, tengan energías de radiación suficientes para sensibilizar un detector y poder medir flujos en líquidos, gases y sólidos. Además, el radiotrazador debe ser inocuo al sistema donde se suministre para evitar posibles contaminaciones durante los ensayos o que se presenten reacciones químicas que impidan el desplazamiento del radiotrazador.

Posterior al suministro del radiotrazador se monitorea el decaimiento radiactivo y se puede leer también el espectro de emisión por medio de espectrómetros portátiles de NaI, BGO o sistemas más modernos como el PET/CT (IAEA, 2020).

Las moléculas radiactivas más utilizadas son: H3HO o (HTO) para estudios en agua, donde se emplea el tritio H³, ²⁴NaOH para NaOH y el ¹⁴CO₂ for CO₂. También están el ¹⁹⁸Au y el ⁸²Br.

En Colombia, se ha reducido considerablemente esta práctica, principalmente a que en el país no hay producción de estos radioisótopos por la carencia de un

reactor nuclear especializado y por los altos costos en la importación y el transporte de los radio trazadores.

4.2 Equipos de gammagrafía industrial

La radiografía industrial fue empleada por primera vez por Agfa en los años 60, primero con propósitos educativos y promocionales, debido a la gran cantidad de incidentes y accidentes que se presentaban en la industria por el deterioro y la fatiga de los materiales, además por control en los parámetros de calidad que deben tenerse desde el punto de vista de la seguridad industrial. Ver figura 9.

Figura 9. Equipo de radiografía industrial con fuente de iridio 192, marca QSA Global Sentinel



La radiografía industrial se enmarca dentro de los ensayos No destructivos para verificar la calidad de un producto. En particular, la inspección de los ensamblajes que son unidos por medio de soldaduras. Algunos defectos se pueden evidenciar a través de la inspección visual, pero dependiente del material y su grosor, muchos defectos no son visibles y se encuentran dentro de la estructura. Por lo tanto, es necesario emplear la radiografía para visualizar los defectos y sus orígenes. La radiografía también puede emplearse para determinar el desgaste y la corrosión de una pieza metálica. En Colombia hay alrededor de 15 empresas que manipulan alrededor de 50 equipos radiográficos. Usualmente, estas empresas prestan servicios a infraestructura de petróleo y gas, fábricas de producción de materias primas, refinerías, gasoductos, puentes, estructuras metálicas, etc. (IAEA, 2011).

Igual que el radiólogo en medicina, el radiólogo industrial debe tener una formación especializada para evidenciar y calificar las defectologías que se presentan en los materiales y sus informes son decisivos para realizar cambios en materiales y en infraestructura. Hasta hace dos décadas la técnica de radiografía industrial se hacía empleando películas radiográficas, pero hoy en día, existen sistemas de placas digitales que llevan la información de la imagen directamente a un computador y permite reducir el número de exposiciones y se emplean tiempos de exposición más reducidos (IAEA, 2011).

El equipo radiográfico consiste en una fuente con una actividad inicial del orden de 100Ci de ¹⁹²Iridio con sistema para poder proyectar la fuente en campo abierto. Estas condiciones la hacen una práctica de riesgo para los trabajadores y el público que está en vecindades del proceso operativo, por lo que las empresas autorizadas en Colombia deben contar con una autorización de la autoridad reguladora y dentro de los requisitos es tener equipos en buenas condiciones y personal entrenado. Deben contar con un almacenamiento seguro de los irradiadores y deben tener un control riguroso durante el transporte.

La radiografía industrial presentó una crisis económica fuerte durante los años 2019 a 2023 debido a la disminución de proyectos de infraestructura, la reducción de explotación de pozos petroleros y especialmente a causa de la pandemia. Sin embargo, la industria creció un poco en el segundo semestre de 2023 y se está llevando a cabo una reactivación de esta actividad en el país.

5. Referencias Bibliográficas

Ahmed S, Brinkley S, Smith E, Sela A, Theisen M, Thibodeau C, Warne T, Anderson E, Van Dusen N, Giuliano P, Ionescu KE, Cash SB. Climate Change and Coffee Quality: Systematic Review on the Effects of Environmental and Management Variation on Secondary Metabolites and Sensory Attributes of *Coffea arabica* and *Coffea canephora*. *Front Plant Sci.* 2021 Oct 8;12:708013. doi: 10.3389/fpls.2021.708013. PMID: 34691093; PMCID: PMC8531415.

Ahumada, J., y Zuleta, S. Instituto de Asuntos Nucleares 1959-1989 Ciencia y Tecnología para el Progreso. Bogotá, Colombia. Editorial IAN. 1989.

Area Metropolitana del Valle de Aburrá, & Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. (2021). Convenio Interadministrativo 671 de 2021 (p. 510).

ATSDR. (n.d.). Torio.

Alghem Hamidatou, L. (2019). Overview of Neutron Activation Analysis. *IntechOpen*. doi: 10.5772/intechopen.85461

ASOCIACIÓN NACIONAL DE COMERCIO EXTERIOR. *Informe mensual de exportaciones colombianas: Julio de 2023*. [Consultado el 29/9/2023]. Obtenido de: <https://www.analdex.org/2023/09/25/informe-mensual-de-exportaciones-colombianas-julio-de-2023/>

Barbieri, Maurizio. 2019. "Isotopes in Hydrology and Hydrogeology" *Water* 11, no. 2: 291. <https://doi.org/10.3390/w11020291>

Bhatnagar P, Gururani P, Bisht B, Kumar V, Kumar N, Joshi R, Vlaskin MS. Impact of irradiation on physico-chemical and nutritional properties of fruits and vegetables: A mini review. *Heliyon*. 2022 Oct 3;8(10):e10918. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e10918. PMID: 36247116; PMCID: PMC9557900.

Bhawna Bisht, Pooja Bhatnagar, Prateek Gururani, Vinod Kumar, Mahipal Singh Tomar, Rajat Sinhmar, Nitika Rath, Sanjay Kumar, Food irradiation: Effect of ionizing and non-ionizing radiations on preservation of fruits and vegetables– a review, *Trends in Food Science & Technology*, Volume 114, 2021, Pages 372-385, ISSN 0924-2244,

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.002>. BNMS, British Nuclear Medicine Society, November 2022 <https://www.bnms.org.uk/page/SupplyUpdates>

Bode, P., Blaauw, M., & Obrušnik, I. (1992). Variation of neutron flux and related parameters in an irradiation container, in use with k₀-based neutron activation analysis. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry Articles*, 157(2), 301–312. <https://doi.org/10.1007/BF02047445>

Boguslaw Michalik, Alla Dvorzhak, Ruth Pereira, Joana Lourenço, Hallvard Haanes, Christian Di Carlo, Cristina Nuccetelli, Gennaro Venoso, Federica Leonardi, Rosabianca Trevisi, Flavio Trotti, Raffaella Ugolini, Lea Pannecoucke, Pascale Blanchart, Danyl Perez-Sanchez, Almudena Real, Alicia Escribano, Laureline Fevrier, Antti Kallio, Lindis Skipperud,

Simon Mark Jerome, Jelena Mrdakovic Popic, A methodology for the systematic identification of naturally occurring radioactive materials (NORM), *Science of The Total Environment*, Volume 881, 2023, 163324, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163324>.

Byrne, A.R. Review of neutron activation analysis in the standardization and study of reference materials, including its application to radionuclide reference materials. *Fresenius J Anal Chem* 345, 144–151 (1993). <https://doi.org/10.1007/BF00322575>

CDC, 2022. Tomado de <https://www.cdc.gov/foodsafety/communication/food-irradiation.html>

DANE, 2022. Matriz de Trabajo. Tomado de: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/cuentas/ec/Bol_CS_Econo_cuidado_matriz_trabajo_2019.pdf

D. L. Alonso, V. M. Pabón, G. A. Parrado, y J. C. Parada, “Revisión sobre la producción de radionúclidos en reactores nucleares y sus aplicaciones como radiotrazadores”, *rev. investig. apl. nucl.*, n.º 1, pp. 6–23, nov. 2017.

Díaz, L., Hurtado, J.J., Rivas, J.S. Delgado, I., García, M.J, Jaime, D., Gutiérrez, J.F., Zabala, A. 2021. Análisis de oportunidades de mercado para productos agropecuarios de Boyacá, con potencialidad para reducir la emisión de carbono mediante una producción adaptada al clima. Programa de Investigación del CGIAR sobre Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS).

Degu Belete G, Alemu Anteneh Y. General Overview of Radon Studies in Health Hazard Perspectives. *J Oncol*. 2021 Jul 31;2021:6659795. doi: 10.1155/2021/6659795. PMID: 34381503; PMCID: PMC8352703.

Drylie, T. P., Needham, H. R., Lohrer, A. M. *et al*. Calcium carbonate alters the functional response of coastal sediments to eutrophication-induced acidification. *Sci Rep* 9, 12012 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48549-8>

Edris Arjeh, Mohsen Barzegar, Mohammad Ali Sahari, Effects of gamma irradiation on physicochemical properties, antioxidant and microbial activities of sour cherry juice, *Radiation Physics and Chemistry*, Volume 114, 2015, Pages 18-24, ISSN 0969-806X, <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2015.05.017>.

EPA, 2023, Radon Lung Cancer Risk. Tomado de: <https://www.cdc.gov/radon/radon-facts.html#:~:text=The%20EPA%20and%20the%20Surgeon,for%20lung%20cancer%20to%20develop>.

FAO & IAEA. 2023. *International Guidelines for Transboundary Shipments of Irradiated Sterile Insects*. Vienna.

<https://doi.org/10.4060/cc8029en>

FNFPFONDONACIONALPARAELOFOMENTO DE LA PAPA. Boletín IV trimestre 2022. [Consultado el 28/10/2023]. Obtenido de: <https://observatoriofnfp.com/wp-content/uploads/2023/05/Informe-trimestral-IV-2022-web-1.pdf>

Garbarien, A., Garbaras, A., Masalaite, D., Ceburnis, E., Krugly, V., & Kauneliene, D. (2020). Identification of wintertime carbonaceous fine particulate matter (PM_{2.5}) sources in Kaunas, Lithuania using polycyclic aromatic hydrocarbons and stable carbon isotope analysis. *Atmospheric Environment*, 237

Guerra-Guimarães L, Diniz I, Azinheira HG*, Loureiro A, Pereira AP, Tavares S, Batista D, Várzea V, Silva MC (2023) Coffee leaf rust resistance: an overview. In *Mutation Breeding in Coffee with Special Reference to Coffee Leaf Rust- Protocols*. Open access. Ingelbrecht I, Silva MC, Jankowicz-Cieslak J Editors, Joint FAO/IAEA Center, Springer. Pp 19-38. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-662-67273-0_2?pdf=ch...

Granados Gómez, C.E. 2021. Medicina Nuclear en Colombia: efectos de la pandemia COVID 19, y la sobreexposición. *Revista Colombiana de Cancerología*. 25, 1 (mar. 2021). DOI:<https://doi.org/10.35509/01239015.771>.

Gravestock, P.; Somani, B.K.; Tokas, T.; Rai, B.P. A Review of Modern Imaging Landscape for Prostate Cancer: A Comprehensive Clinical Guide. *J. Clin. Med*. 2023, 12, 1186. <https://doi.org/10.3390/jcm12031186>

Hasan, S., Prelas, M.A. Molybdenum-99 production pathways and the sorbents for “Mo” Tc generator systems using (n, γ) “Mo: a review. *SN Appl. Sci.* 2, 1782 (2020). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03524-1>

H. Múnera, Tecnología Nuclear No Médica en Colombia. Pasado, presente y futuro, Bogotá: Tecnicontrol S. A., 2011.

Hoffman, E. L. (1992). Instrumental neutron activation in geoanalysis. *Journal of Geochemical Exploration*, 44(1–3), 297–319. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(92\)90053-B](https://doi.org/10.1016/0375-6742(92)90053-B).

IAEA, 1989. Estudios de Hidrología Isotópica en América Latina. Documentos Técnico Publicado por el IAEA. Tomado de: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_502_web.pdf

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Categorization of Radiation Sources, IAEA-TECDOC-1191, IAEA, Vienna (2000)

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Safety in Well Logging, IAEA Safety Standards Series No. SSG-57, IAEA, Vienna (2020)

IAEA-TECDOC-1459. ISBN 92–0–107805–6. ISSN 1011–4289, 2005

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Safety in Industrial Radiography, IAEA Safety Standards Series No. SSG-11, IAEA, Vienna (2011)

IAEA, Nuclear Technology for a Sustainable Future, Vienna: IAEA, 2012.

IAEA, Radiotracer residence time distribution method for industrial and environmental applications, Training Course Series No. 31, 2008, p. 57-144.

IAEA, Requisitos de Seguridad Generales, Parte 3 N° GSR Part 3. Vienna: IAEA, 2016.

IAEA, Use of radiotracers to study surface water processes, IAEA-TECDOC-1760, 2015, p. 4-64.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Guidelines for Sediment Tracing Using the Compound Specific Carbon Stable Isotope Technique, IAEA-TECDOC-1881, IAEA, Vienna (2019).

IAEAa. Cooperación Técnica con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) en el Área de Salud Humana, 2023

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Food Irradiation Combating Bacteria Around the World. [Consultado el 1/11/2023] b.

Obtenido de: <https://www.iaea.org/newscenter/news/food-irradiation-combating-bacteria-around-world>.

IAEA, 2024, Quantifying the combined impacts of anthropogenic CO₂ emissions and watershed alteration on estuary acidification at biologically-relevant time scales: a case study from Tillamook Bay, OR, USA. Tomado de: <https://news-oceanacidification-icc.org/2024/02/07/quantifying-the-combined-impacts-of-anthropogenic-co2-emissions-and-watershed-alteration-on-estuary-acidification-at-biologically-relevant-time-scales-a-case-study-from-tillamook-bay-or-usa/>

IDEAM, 2023. Estudio Nacional del Agua 2022. Ideam 464 pp.

Indiarto, R.; Irawan, A.N.; Subroto, E. Meat Irradiation: A Comprehensive Review of Its Impact on Food Quality and Safety. *Foods* 2023, 12, 1845. <https://doi.org/10.3390/foods12091845>

Jacob Trotter, Austin R. Pantel, Boon-Keng Kevin Teo, Freddy E. Escorcía, Taoran Li, Daniel A. Pryma, Neil K. Taunk, Positron Emission Tomography (PET)/Computed Tomography (CT) Imaging in Radiation Therapy Treatment Planning: A Review of PET Imaging Tracers and Methods to Incorporate PET/CT, *Advances in Radiation Oncology*, Volume 8, Issue 5, 2023, 101212, ISSN 2452-1094, <https://doi.org/10.1016/j.adro.2023.101212>.

J. I. ABRIL. *Introducción a la irradiación gamma de alimentos y desarrollo tecnológico en Colombia*. Revista de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares, N° 2, pp. 5-14, 2018; Cfr. M. Lacroix y B. Ouattara, "Combined Industrial Processes with Irradiation to Assure Innocuity and Preservation of Food Products: A Review", *Food Res. Int.*, vol. 33, n.º 9, 2000, pp. 719-724.

Jenny Norrman, Charlotte J. Sparrenbom, Michael Berg, Duc Nhan Dang, Gunnar Jacks, Peter Harms-Ringdahl, Quy Nhan Pham, Håkan Rosqvist, Tracing sources of ammonium in reducing groundwater in a well field in Hanoi (Vietnam) by means of stable nitrogen isotope ($\delta^{15}\text{N}$) values, *Applied Geochemistry*, Volume 61, 2015, Pages 248-258, ISSN 0883-2927, <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.06.009>.

Journal of the Geological Society, London, Vol. 164, 2007, pp. 691-708. Printed in Great Britain.

Kapranas A, Collatz J, Michaelakis A & Milonas P (2022) Review of the role of sterile insect technique within biologically-based pest control – An appraisal of existing regulatory frameworks. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 170: 385-393. <https://doi.org/10.1111/eea.13155>

K. A. Smith, Changing views of nitrous oxide emissions from agricultural soil: Key controlling processes and assessment at different spatial scales. *Eur. J. Soil Sci.* 68, 137–155 (2017).

Kawashima, H., & Haneishi, Y. (2012). Effects of combustion emissions from the Eurasian continent in winter on seasonal $\delta^{13}\text{C}$ of elemental carbon in aerosols in Japan. *Atmospheric Environment*, 568-579.

Kohn, M. J. (2010). Carbon isotope compositions of terrestrial C₃ plants as indicators of (paleo) ecology and (paleo) climate. *PNAS Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. <https://doi.org/10.1073/pnas.1004933107>

Kroeker KJ, Kordas RL, Crim R, Hendriks IE, Ramajo L, Singh GS, Duarte CM, Gattuso JP. Impacts

of ocean acidification on marine organisms: quantifying sensitivities and interaction with warming. *Glob Chang Biol.* 2013 Jun;19(6):1884-96. doi: 10.1111/gcb.12179. Epub 2013 Apr 3. PMID: 23505245; PMCID: PMC3664023.

Leah Minc, NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS, Editor(s): Deborah M. Pearsall, *Encyclopedia of Archaeology*, Academic Press, 2008, Pages 1669-1683, ISBN 9780123739629, <https://doi.org/10.1016/B978-012373962-9.00213-2>.

Lenntech. (n.d.). Propiedades químicas del Escandio. <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/sc.htm#ixzz7dUSgmCQn>

Liebig, J. (1831). Ueber einen neuen Apparat zur Analyse organischer Körper, und über die Zusammensetzung einiger organischen Substanzen. <https://doi.org/10.1002/andp.18310970102>

Matiatos, I., Wassenaar, L.I., Monteiro, L.R. *et al.* Global patterns of nitrate isotope composition in rivers and adjacent aquifers reveal reactive nitrogen cascading. *Commun Earth Environ* 2, 52 (2021). <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00121-x>

Mirosław, Z. (2020). Application of Natural Carbon Isotopes for Emission Source Apportionment of Carbonaceous Particulate Matter in Urban Atmosphere: A Case Study from Krakow, Southern Poland. *Sustainability*, 5777.

Minenergía, 2019. Cuantificación del impacto socioeconómico que generó el sector nuclear en Colombia en el periodo 2014 a 2018. IDOM.

Molins, Y Motarjemi, F.K Käferstein, *Irradiation: a critical control point in ensuring the microbiological safety of raw foods*, *Food Control*, Volume 12, Issue 6, 2001, Pages 347-356, ISSN 0956-7135, [https://doi.org/10.1016/S0956-7135\(01\)00035-4](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(01)00035-4).

Murcia Eliana Marcela, Johana Andrea Lineros, Jairo Aguilera, Carlos Eduardo Granados, María Cristina Martínez, Nathaly Barbosa. Regulación de los servicios de medicina nuclear: percepción de la problemática y desafíos para el manejo del cáncer en Colombia. *Biomédica* 2021, 41(4)

Newton, R., & Bottrell, S. (2007). Stable isotopes of carbon and sulphur as indicators of environmental change: past and present. *Journal of the Geological Society*, 691-708.

NME, 2022. Tomado de: https://cdn.ymaws.com/www.bnms.org.uk/resource/resmgr/website_documents/10112022_com_munication_mo-99.pdf

P. Loaharanu, Benefits of radiation processing to food industries in developing countries, *Radiation Physics and Chemistry* (1977), Volume 22, Issues 1–2, 1983, Pages 225-232, ISSN 0146-5724

Richardson *et al.*, Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Sci. Adv.* 9, eadh2458 (2023). DOI:10.1126/sciadv.adh2458

Rosatom, 2023. Tomado de: <https://rosatomnewletter.com/es/2023/05/29/bolivia-awaiting-reactor-delivery/de>:

Scheer, C., Rütting, T. Use of “N tracers to study nitrogen flows in agro-ecosystems: transformation, losses and plant uptake. *Nutr Cycl Agroecosyst* 125, 89-93 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10705-023-10269-x>

Sierra Arias, O. A., Alonso Contreras, D. L., Parrado Lozano, G. A., Herrera, D. C., Porras Ríos, A. F., & Peña Urueña, M. L. (2020). Determinación de la fracción de masa de lantano (La) en suelos mediante análisis

por activación neutrónica. Revista Investigaciones y Aplicaciones Nucleares, 4, 5-15. <https://doi.org/10.32685/2590-7468/invapnuclear.4.2020.516>

Sierra, R. (2011). Nanocompósitos de PMMA-HfxZr1-xO2: estudio de sus propiedades estructurales, térmicas y morfológicas [Centro de Investigación en Química Aplicada] [https://ciqa.reposito.institucional.mx/jspui/bitstream/1025/188/1/Rubén Sierra Ávila maestría.pdf](https://ciqa.reposito.institucional.mx/jspui/bitstream/1025/188/1/Rubén%20Sierra%20Ávila%20maestría.pdf)

Sahil Chaudhary, Satish Kumar, Vikas Kumar, Barinderjit Singh, Atul Dhiman, Irradiation: A tool far the sustainability of fruit and vegetable supply chain-Advancements and future trends, Radiation Physics and Chemistry, Volume 217, 2024, 111511, ISSN 0969-806X <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2024.111511>

Steven, E., & Hedges, J. (2008). Chemical Oceanography and the Marine Carbon Cycle. Cambridge.

T. Ruth, “The uses of radiotracers in the life sciences”. Reports on Progress in Physics, vol. 72, nº 1, 2009

Tea I, De Luca A, Schiphorst AM, Grand M, Barillé-Nion S, Mirallié E, Drui D, Krempf M, Hankard R, Tcherkez G. Stable Isotope Abundance and Fractionation in Human Diseases. Metabolites. 2021 Jun 9;11(6):370. doi: 10.3390/metabo11060370. PMID: 34207741; PMCID: PMC8228638.

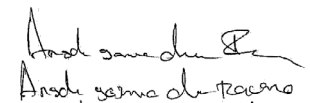
WORLD HEALTH ORGANIZATION. *FOOD IRRADIATION: A technique for preserving and improving the safety of food*. Switzerlandd: World Health Organization, 1988

Y.C. Kong, Olivia S.M. Lee, C.H. Yung, Study of the naturally occurring radionuclide Beryllium 7 (Be-7) in Hong Kong, Journal of Environmental RadioactivityVolume 246, 2022, 106850, ISSN 0265-931X, <https://doi.org/10.1016/j.envrad.2022.106850>.

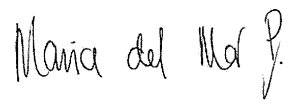
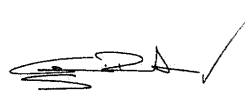
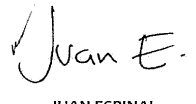
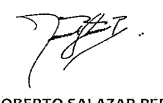
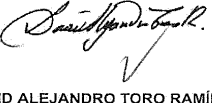
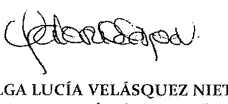
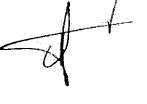


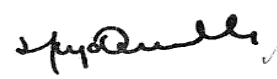
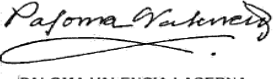
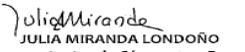
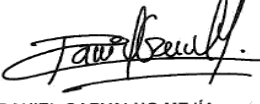
Cordialmente,

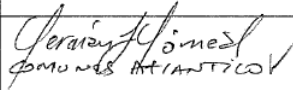
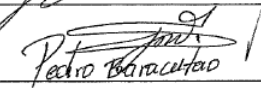
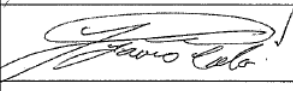
JUAN FERNANDO CRISTO BUSTOS
Ministro del Interior

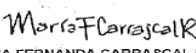
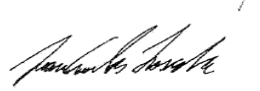
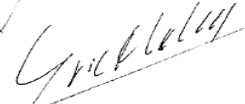


Andrés Germán de la Cruz
Ministro de Ciencia y Tecnología e Innovación

 MARIA DEL MAR PIZARRO GARCÍA Representante a la Cámara por Bogotá	 GERMÁN ROGELIO ROZA ANÍS Representante a la Cámara Departamento de Arauca
 PAOLA HOLGUÍN Senadora de la República	 JUAN ESPINAL Representante a la Cámara por Antioquia
 JULIO ROBERTO SALAZAR PERDOMO Representante a la Cámara Departamento de Cundinamarca	 DAVID ALEJANDRO TORO RAMÍREZ Representante a la Cámara por Antioquia
 OLGA LUCÍA VELÁSQUEZ NIETO Representante a la cámara por Bogotá partido alianza verde	 ANDRÉS EDUARDO FORERO MOLINA Representante a la Cámara por Bogotá

 HUGO ALFONSO ARCHILA SUÁREZ Representante a la Cámara Departamento de Casanare	 PALOMA VALENCIA LASERNA Senadora de la República
 GABRIEL ERNESTO PARRADO DURÁN Representante a la Cámara por el Meta Pacto Histórico - PDA	 HERÁCLITO LANDÍNEZ SUÁREZ Representante a la Cámara Pacto Histórico
 EDUARD SARMIENTO HIDALGO REPRESENTANTE A LA CÁMARA POR CUNDINAMARCA PACTO HISTÓRICO	 JULIA MIRANDA LONDOÑO Representante a la Cámara por Bogotá Partido Nuevo Liberalismo
 DANIEL CARVALHO MEJÍA Representante a la Cámara por Antioquia	 ANÍBAL GUSTAVO HOYOS FRANCO Representante a la Cámara por Risaralda Partido Liberal

 MARIO CONZALEZ	 GERARDO JIMÉNEZ
 PEDRO BARACAT	 JUAN PABLO

 ALIRIO URIBE MUÑOZ Representante a la Cámara por Bogotá Coalición Pacto Histórico	 MARIA FERNANDA CARRASCAL ROJAS Representante a la Cámara por Bogotá
 JORGE HERNÁN BASTIDAS ROSERO REPRESENTANTE A LA CÁMARA POR CAUCA PACTO HISTÓRICO	 CARLOS ADOLFO ARDILA ESPINOSA REPRESENTANTE A LA CÁMARA POR PUTUMAYO PARTIDO LIBERAL COLOMBIANO
 SARAY ELENA ROBAYO BECHARA Representante a la Cámara Departamento de Córdoba	 GLORIA ELENA ARIZABALETA CORRAL Representante a la Cámara
 JUAN CARLOS LOZADA VARGAS Representante a la Cámara por Bogotá	 ERICK ADRIÁN VELASCO BURBANO Representante a la Cámara por Narifío Coalición Pacto Histórico

En el día 11 de Diciembre del año 2024

Se ha presentado en este despacho el

Acto Legislativo

466

Con su correspondiente

decretos, suscrito Por:

MP. Maria del Mar Pizarro

SECRETARIO GENERAL