



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales
ICADE

GESTORA DE RESIDUOS NUCLEARES: RESIROM

Autor: Yago Romeo Sánchez
Director: Isabel Catalina Figuerola Ferretti

MADRID | Junio 2024

Índice

1. Introducción.....	1
1.1 Contextualización del Problema.....	1
1.2 Importancia de una Gestión Segura y Eficaz.....	2
1.3 Objetivos y Alcance del TFG	2
1.4 Metodología de Investigación	3
2. Marco Teórico.....	3
2.1 Fundamentos de la Energía Nuclear y Generación de Residuos	3
2.2 Tipos de Residuos Nucleares y Sus Niveles de Radiactividad.....	4
2.3 Revisión de las Técnicas Actuales de Gestión y Almacenamiento de Residuos Nucleares	5
2.4 Legislación Europea e Internacional Relevante	6
2.5 Estudio de Caso Existente, el Proyecto en Minas de Gabón.....	9
3. Análisis del Entorno	10
3.1 Análisis de Stakeholders.....	11
3.2 Análisis de Mercado	11
3.3 Barreras y Facilitadores	12
4. Descripción de la Idea de Negocio para Resirom.....	12
4.1 Misión y Visión de Resirom	12
4.2 Servicios Ofrecidos	13
4.3 Infraestructura y Ubicación	13
4.4 Prototipo de Recipiente Aislante	14
5. Planificación Estratégica para Resirom.....	16
5.1 Estrategias para la Implementación Efectiva del Servicio	16
5.2 Plan de Gestión de Riesgos	17
5.3 Sostenibilidad Ambiental del Proyecto	21
5.4 Soporte para la Construcción de Nuevas Instalaciones	21
6. Aspectos técnicos.....	21
6.1 Tecnologías Involucradas en el Tratamiento y Almacenamiento	21
6.2 Innovaciones en el Manejo de Residuos Nucleares.....	22
7. Aspectos Legales Y Éticos.....	22
7.1 Cumplimiento de Legislaciones y Normativas Vigentes.....	22
7.2 Consideraciones Éticas de la Gestión de Residuos Nucleares	23
7.3 Protocolos de Seguridad y Salud Ocupacional.....	24

8. Plan Financiero	27
8.1 Detallade de Costos Iniciales.....	27
8.2 Situación Ficticia: Plan de Financiación de Resirom.	29
8.3 Situación Ficticia: Evaluación de Viabilidad y Retorno de la Inversión de Resirom	32
9. Impacto Ambiental y Social de la Gestión de Residuos Nucleares.....	33
9.1 Evaluación del Impacto Ambiental del Proyecto	33
9.2 Beneficios Sociales de una Gestión Adecuada de Residuos Nucleares.....	34
9.3 Estrategias de Comunicación y Participación Comunitaria	34
10. Conclusiones y recomendaciones.....	34
12. Bibliografía.....	41

Índice de tablas

<i>Tabla 1: Clasificación de residuos nucleares</i>	4
<i>Tabla 2 Clasificación de países con centrales nucleares</i>	7
<i>Tabla 3 Análisis Pestel</i>	10
<i>Tabla 4: Plan de Gestión de Riesgos</i>	18
<i>Tabla 5: Costos Iniciales</i>	27
<i>Tabla 6: Costos Operativos</i>	28
<i>Tabla 7: Financiación</i>	30

Resumen ejecutivo

Este trabajo de fin de grado se centra en el desarrollo de un modelo de gestión para una empresa, Resirom, dedicada a la gestión de residuos nucleares en Europa. Dada la creciente importancia de la energía nuclear dentro del mix energético y la necesidad crítica de manejar de manera segura sus residuos, este estudio aborda el diseño de un sistema integral para recolectar, tratar y almacenar residuos nucleares de manera segura, siguiendo las regulaciones de la Unión Europea.

El objetivo principal del trabajo es diseñar y evaluar la viabilidad de una gestora de residuos nucleares que no solo cumpla con las normativas europeas, sino que también establezca nuevos estándares en términos de eficiencia, seguridad y sostenibilidad ambiental. La propuesta de Resirom busca contribuir a la sostenibilidad del sector energético y minimizar el impacto ambiental de los residuos nucleares.

Para el desarrollo del proyecto, se utilizó una metodología mixta que incluye análisis cualitativos y cuantitativos. Se realizaron estudios de mercado para identificar las necesidades actuales y futuras en la gestión de residuos nucleares, evaluaciones de las tecnologías existentes y posibles innovaciones, y análisis financiero detallado para determinar la viabilidad económica del proyecto. Además, se consultó a expertos en el sector para validar la propuesta de diseño y operación.

El proyecto demostró ser viable bajo diferentes escenarios económicos y regulatorios. La creación de Resirom permitiría gestionar eficazmente los residuos nucleares de varias plantas en Europa, asegurando el cumplimiento de todas las normativas vigentes y contribuyendo a una mayor seguridad nuclear. La evaluación financiera indicó que, con la adecuada estructura de financiación, Resirom no solo sería capaz de cubrir sus costos operativos y de inversión, sino también de generar beneficios a largo plazo.

La implementación de Resirom como gestora de residuos nucleares en Europa representa una oportunidad significativa para mejorar la gestión de residuos nucleares. La empresa podría liderar el camino hacia un manejo más seguro y sostenible de los residuos nucleares, ofreciendo servicios que actualmente son subóptimos en muchas regiones de

Europa. El modelo propuesto tiene el potencial de servir como referencia para futuros proyectos similares globalmente.

Este resumen ofrece una visión clara y detallada del contenido y la importancia del trabajo, proporcionando una base sólida para otros investigadores interesados en el tema de la gestión de residuos nucleares y su impacto en la sostenibilidad energética y ambiental.

Executive Summary

This final degree project focuses on the development of a management model for a company, Resirom, dedicated to the management of nuclear waste in Europe. Given the growing importance of nuclear energy within the energy mix and the critical need to safely manage its waste, this study addresses the design of an integrated system to collect, treat, and store nuclear waste safely, following European Union regulations.

The main objective of the work is to design and assess the feasibility of a nuclear waste management company that not only complies with European regulations but also sets new standards in terms of efficiency, safety, and environmental sustainability. Resirom's proposal seeks to contribute to the sustainability of the energy sector and minimize the environmental impact of nuclear waste.

For the project development, a mixed methodology including qualitative and quantitative analysis was used. Market studies were conducted to identify current and future needs in nuclear waste management, assessments of existing technologies and potential innovations, and detailed financial analysis to determine the economic viability of the project. Additionally, sector experts were consulted to validate the design and operation proposal.

The project proved to be viable under different economic and regulatory scenarios. The creation of Resirom would allow for the effective management of nuclear waste from several plants in Europe, ensuring compliance with all current regulations and contributing to greater nuclear safety. The financial assessment indicated that, with the proper financing structure, Resirom would not only be able to cover its operational and investment costs but also generate long-term profits.

The implementation of Resirom as a nuclear waste management company in Europe represents a significant opportunity to improve nuclear waste management. The company could lead the way to safer and more sustainable nuclear waste management, offering services that are currently suboptimal in many regions of Europe. The proposed model has the potential to serve as a reference for similar future projects globally.

This summary provides a clear and detailed view of the content and importance of the work, providing a solid foundation for other researchers interested in the topic of nuclear waste management and its impact on energy and environmental sustainability.

1. Introducción

1.1 Contextualización del Problema

La energía nuclear desempeña un papel significativo en la matriz energética de Europa, proporcionando una fuente de energía estable y libre de emisiones de CO₂ (Portela et al., 2023). Sin embargo, uno de los desafíos más críticos asociados con ella es la gestión de los residuos nucleares que genera. Estos residuos presentan riesgos significativos para la salud y el medio ambiente si no se manejan adecuadamente. La eficacia en la gestión de residuos nucleares es crucial para el desarrollo sostenible de la energía nuclear, especialmente considerando que el volumen de residuos producidos, aunque pequeño comparado con otros residuos industriales, es altamente peligroso (Drace et al., 2022).

La gestión de residuos nucleares es un desafío significativo asociado con la producción de energía nuclear. Estos residuos son subproductos del uso de material fisionable en reactores nucleares y deben ser gestionados adecuadamente para evitar riesgos ambientales y de salud pública. La gestión efectiva implica su manejo, tratamiento, almacenamiento y disposición final de manera segura.

A nivel mundial, las plantas nucleares generan grandes cantidades de residuos radiactivos cada año. Según la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA, 2019), hay más de 400 reactores nucleares en operación en más de 30 países, produciendo aproximadamente 10,000 toneladas de residuos radiactivos de alta actividad cada año. Estos residuos requieren aislamiento a largo plazo debido a su alta peligrosidad y vida media prolongada.

Los residuos nucleares presentan varios riesgos. La contaminación radiológica puede liberar materiales radiactivos al medio ambiente, contaminando el suelo, el agua y el aire, causando daños ecológicos y problemas de salud en humanos y fauna. La exposición a la radiación ionizante puede provocar efectos adversos en la salud, como cáncer y enfermedades genéticas. Además, los residuos nucleares pueden ser objetivo de actos de terrorismo o sabotaje, presentando riesgos adicionales para la seguridad nacional.

Uno de los desafíos clave en la gestión de residuos nucleares es el almacenamiento a largo plazo. Los residuos de alta actividad necesitan ser aislados de la biosfera durante miles de años. Esto requiere soluciones de almacenamiento geológico profundo que puedan

mantener su integridad estructural a lo largo del tiempo. Además, el desarrollo de tecnologías seguras y económicamente viables para el almacenamiento y disposición final de residuos nucleares es costoso y tecnológicamente complejo. La falta de aceptación y confianza pública en las soluciones propuestas para la gestión de residuos nucleares puede obstaculizar la implementación de proyectos.

Algunos países han avanzado en la implementación de soluciones de almacenamiento geológico profundo. Por ejemplo, la instalación de Onkalo en Olkiluoto, Finlandia, es una de las primeras instalaciones de almacenamiento geológico profundo en el mundo, diseñada para almacenar residuos radiactivos de alta actividad de manera segura durante miles de años (*Radioactive Waste Management - World Nuclear Association*, s. f.). En Suecia, Forsmark está desarrollando un repositorio similar, utilizando formaciones geológicas estables para asegurar el confinamiento de residuos a largo plazo (*The Final Repository SFR - SKB.com*, s. f.). En Francia, el proyecto CIGEO (Centre Industriel de Stockage Géologique) en Bure es una iniciativa para construir un repositorio geológico profundo para residuos de alta actividad y larga vida (*Historique de la Gestion Des Déchets Radioactifs*, s. f.).

1.2 Importancia de una Gestión Segura y Eficaz

La gestión segura y eficaz de los residuos nucleares es vital no solo para mitigar los riesgos ambientales y de salud pública, sino también para mantener la viabilidad a largo plazo de la energía nuclear como parte del mix energético. Implementar estrategias de gestión adecuadas, como el almacenamiento seguro y la disposición final, asegura que estos materiales peligrosos estén bien contenidos y no representen una amenaza para el medio ambiente o la salud humana. Esto incluye desde la recolección de residuos hasta su procesamiento y almacenamiento final en instalaciones seguras (Fernández-Arias et al., 2023)

1.3 Objetivos y Alcance del TFG

Este trabajo tiene como objetivo principal desarrollar un modelo de gestión de residuos nucleares que sea seguro, eficiente y conforme a las regulaciones europeas vigentes. El

enfoque será en la creación de un sistema integrado que abarque desde la generación de residuos hasta su almacenamiento final seguro, utilizando tecnologías y prácticas que minimicen el riesgo ambiental y maximicen la seguridad para la población y el medio ambiente ("Nuclear Waste Management in Europe", n.d.).

1.4 Metodología de Investigación

Para abordar este estudio, se empleará una metodología mixta que incluirá revisión bibliográfica, análisis de políticas y normativas vigentes en Europa, y estudios de caso de estrategias de gestión de residuos nucleares efectivas a nivel internacional. Además, se analizarán técnicamente los diferentes tipos de residuos y se evaluarán las tecnologías de tratamiento y almacenamiento actualmente disponibles, para identificar las mejores prácticas y posibles áreas de innovación (Fernández-Arias et al., 2023).

Este enfoque integral permite entender no solo los aspectos técnicos y prácticos de la gestión de residuos nucleares, sino también los desafíos políticos y regulatorios asociados con su manejo seguro y efectivo.

2. Marco Teórico

2.1 Fundamentos de la Energía Nuclear y Generación de Residuos

La energía nuclear ha sido parte de la matriz energética global desde mediados del siglo XX, impulsada inicialmente por el desarrollo tecnológico durante y después de la Segunda Guerra Mundial. Los fundamentos de la energía nuclear se basan en la fisión nuclear, donde los núcleos atómicos de materiales pesados, como el uranio, se dividen para liberar energía. Este proceso no solo produce una cantidad significativa de energía sino también residuos radiactivos que requieren gestión cuidadosa debido a su potencial peligro para la salud y el medio ambiente. La historia de la energía nuclear está marcada por avances significativos y desafíos, especialmente en lo que respecta a la gestión de residuos nucleares, un problema que ha persistido desde los primeros días de la industria nuclear (*Permissible Dose: A History Of Radiation Protection In The Twentieth Century.*, 2000).

2.2 Tipos de Residuos Nucleares y Sus Niveles de Radiactividad

Los residuos nucleares se clasifican generalmente en función de su nivel de radiactividad en bajo, medio y alto nivel. Los residuos de bajo nivel incluyen materiales desechados con contaminación superficial o elementos de corta vida media. Los residuos de nivel medio requieren confinamiento y aislamiento más rigurosos debido a su mayor radiactividad. Los residuos de alto nivel, como el combustible nuclear gastado, son extremadamente radiactivos y plantean los mayores desafíos en términos de gestión y almacenamiento seguro. La clasificación y gestión de estos residuos se ha desarrollado a lo largo del tiempo, reflejando el crecimiento del conocimiento científico y la tecnología en la industria nuclear. (Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development, 2020).

Tabla 1: Clasificación de residuos nucleares

Tipo de Residuo	Nivel de Radiactividad	Manejo y Almacenamiento
Residuos de Bajo Nivel (LLW)	Bajo	Almacenamiento en superficie o en instalaciones poco profundas.
Residuos de Nivel Intermedio (ILW)	Intermedio	Requieren aislamiento y control a medio plazo; a menudo se solidifican en hormigón o bitumen y se almacenan en depósitos profundos.
Residuos de Alto Nivel (HLW)	Alto	Generados principalmente de combustibles gastados; necesitan refrigeración y deben almacenarse en depósitos geológicos profundos.

Fuente: Elaboración propia basada en el siguiente informe: “*Radioactive Waste Management.*” (World Nuclear Association, 2021).

Residuos de Bajo Nivel (Low-Level Waste, LLW) Los residuos de bajo nivel incluyen materiales que han sido contaminados con sustancias radiactivas o que han sido expuestos a radiación, como guantes y herramientas. Estos residuos requieren un manejo que puede incluir almacenamiento superficial o en instalaciones poco profundas, asegurando su adecuada contención y minimizando el riesgo de exposición ambiental o humana (World Nuclear Association, 2021).

Residuos de Nivel Intermedio (Intermediate-Level Waste, ILW) Estos residuos contienen más radiactividad que los LLW y pueden incluir materiales de desecho como resinas, componentes químicos y sludges. La gestión de estos residuos generalmente involucra su solidificación en matrices como hormigón o bitumen para facilitar un almacenamiento más seguro en instalaciones de disposición profunda (Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development, 2020).

Residuos de Alto Nivel (High-Level Waste, HLW) Provenientes principalmente del combustible gastado, estos residuos son altamente radiactivos y pueden generar una cantidad significativa de calor. El manejo de HLW implica métodos de almacenamiento avanzados que incluyen piscinas de enfriamiento y, eventualmente, almacenamiento en depósitos geológicos profundos diseñados para contener la radiactividad de forma segura durante milenios (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2009)

2.3 Revisión de las Técnicas Actuales de Gestión y Almacenamiento de Residuos Nucleares

Históricamente, las estrategias de gestión de residuos nucleares han incluido el almacenamiento en piscinas de combustible gastado, vitrificación y almacenamiento geológico profundo. La idea de enterrar residuos radiactivos en formaciones geológicas estables surgió a mediados del siglo XX, con la creencia de que tales formaciones podrían contener los residuos de manera segura por miles de años. A lo largo de los años, ha

habido debates intensos y desarrollos tecnológicos significativos en torno a las mejores prácticas para el almacenamiento de residuos nucleares, reflejando una evolución continua en las técnicas y enfoques para mitigar los riesgos asociados con estos materiales peligrosos (Krige, 2006).

2.4 Legislación Europea e Internacional Relevante

La regulación de los residuos nucleares en Europa y a nivel internacional ha evolucionado considerablemente desde la era posterior a la Segunda Guerra Mundial, con una serie de tratados, directivas y normas que buscan asegurar un manejo seguro de los residuos radiactivos. La Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA) ha sido clave en la formulación de normas de seguridad que han sido adoptadas y adaptadas por los países miembros. En la Unión Europea, la directiva EURATOM establece un marco legal para la protección sanitaria de la población y los trabajadores contra los peligros de la radiación ionizante, incluyendo la gestión de residuos nucleares (Fischer, 1997).

Directiva 2011/70/Euratom Esta es una de las piezas legislativas clave en la gestión de residuos nucleares en Europa. Establece un marco comunitario para garantizar la gestión responsable y segura de los residuos radiactivos y el combustible gastado. La Directiva requiere que los estados miembros mantengan programas nacionales para la gestión de residuos, desde su generación hasta su disposición final, incluyendo la exigencia de fondos adecuados y recursos humanos para gestionar estos residuos de manera segura (*Directiva - 2011/70 - EN - EUR-Lex, s. f.*)

Reglamento (Euratom) N° 1493/93 Este reglamento establece normas sobre la protección de la salud de la población en general con respecto a las sustancias radiactivas en el agua destinada al consumo humano. Aunque no se centra exclusivamente en la gestión de residuos nucleares, establece límites importantes para la radiactividad en el medio ambiente, lo que indirectamente afecta las estrategias de gestión de residuos nucleares (*Reglamento - 1493/93 - EN - EUR-LEX, s. f.*)

Tratado Euratom El Tratado constitutivo de la Comunidad Europea de Energía Atómica (Euratom) proporciona la base legal para las normativas y directivas relacionadas con la energía nuclear y la protección radiológica en la Unión Europea. Este tratado cubre todos los aspectos de la energía nuclear y ha sido fundamental para desarrollar estándares de seguridad y protección ambiental en toda la industria nuclear europea (Euratom, 2016).

Con base en la legislación actual, desarrollar una gestora de residuos nucleares a nivel europeo es viable desde el punto de vista legal, siempre y cuando se cumplan todas las normativas mencionadas. La Directiva 2011/70/Euratom, en particular, podría facilitar este proceso al requerir que los estados miembros desarrollen y mantengan programas nacionales de gestión de residuos, lo que puede alentar a las iniciativas privadas o intergubernamentales para gestionar estos residuos de manera eficiente y segura. Además, la colaboración entre países miembros en el marco del tratado Euratom podría ser fundamental para el éxito de tal empresa, asegurando el cumplimiento de las normativas y promoviendo las mejores prácticas en la gestión de residuos nucleares.

Tabla 2 Clasificación de países con centrales nucleares

País	Reactores Operativos	Reactores en Construcción	Legislación y Políticas Relevantes
Francia	56	1	Líder en energía nuclear, con planes de expansión significativos para el futuro.
Finlandia	5	1	Continúa desarrollando su capacidad nuclear, con nuevos proyectos en proceso.
Hungría	4	2	Activa en la expansión de su capacidad nuclear con nuevos proyectos planeados.
Bélgica	5	0	Aunque ha considerado la eliminación nuclear, mantiene operaciones significativas.

País	Reactores Operativos	Reactores en Construcción	Legislación y Políticas Relevantes
Suecia	6	0	A pesar de los debates sobre el futuro de la energía nuclear, sigue operando varias plantas.
Eslovaquia	5	1	Tiene una planta en construcción y muestra un compromiso continuo con la energía nuclear.
República Checa	6	1	Planea expandir su capacidad nuclear en respuesta a las necesidades energéticas.
España	7	0	Continúa operando plantas nucleares a pesar de discusiones sobre su futuro energético.
Rumania	2	2	Activa en el desarrollo de nuevos proyectos nucleares.
Bulgaria	2	1	Mantiene un interés en la energía nuclear con planes de expansión.
Eslovenia	1	0	Opera un reactor y ha mostrado interés en mantener su uso de la energía nuclear.
Países Bajos	1	0	Planea construir más reactores para reducir la dependencia de las importaciones de gas.

Fuente: Elaboración propia basada en el siguiente informe: “Centrales Nucleares en el Mundo.” (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, n.d.).

Estos datos se han compilado considerando la información disponible sobre la capacidad nuclear, la operación de reactores y los proyectos futuros de cada país. La mayoría de estos países están activamente involucrados en mantener o expandir su capacidad nuclear, reflejando una estrategia energética diversificada que incluye la energía nuclear como un componente clave para la seguridad energética y la reducción de emisiones de carbono.

2.5 Estudio de Caso Existente, el Proyecto en Minas de Gabón

El fenómeno de las minas de Oklo, en Gabón, es un descubrimiento singular en la historia de la energía nuclear. En 1972, científicos franceses descubrieron que una serie de reactores nucleares naturales habían estado operando en la región de Oklo aproximadamente hace 2 mil millones de años. Este hallazgo demostró que las condiciones geológicas específicas pueden permitir que una reacción nuclear autosostenida ocurra de manera natural. Los reactores naturales de Oklo funcionaron durante cientos de miles de años, generando calor y productos de fisión similares a los de los reactores nucleares modernos.

Lo más notable del descubrimiento es que estos productos de fisión se mantuvieron confinados en el mismo lugar durante miles de millones de años, debido a las características geológicas del sitio. Los minerales circundantes y el agua subterránea desempeñaron un papel crucial en la contención de los residuos radiactivos, evitando su dispersión en el entorno circundante. Esto proporcionó una evidencia natural de que los residuos nucleares pueden ser gestionados de manera segura a largo plazo si se almacenan en las condiciones geológicas adecuadas (Cotton, M., 2017)

El descubrimiento de los reactores nucleares naturales en Oklo, Gabón, en la década de 1970 proporcionó un caso de estudio único sobre cómo los materiales radiactivos pueden ser contenidos naturalmente en un entorno geológico durante miles de años (Gauthier-

Lafaye et al., 1996). Este fenómeno ha influido en las estrategias modernas de gestión de residuos nucleares, ofreciendo un ejemplo natural de cómo los residuos radiactivos pueden ser confinados de manera segura en formaciones geológicas, inspirando así métodos modernos de almacenamiento geológico profundo (Cotton, M., 2017).

El descubrimiento de reacciones nucleares naturales en las minas de Oklo, Gabón, ha proporcionado valiosa información sobre cómo los materiales radiactivos pueden ser naturalmente contenidos en formaciones geológicas. Basándose en este fenómeno, se puede conceptualizar un recipiente aislante para residuos nucleares que imite estos procesos naturales.

3. Análisis del Entorno

Para desarrollar una gestora de residuos nucleares efectiva y sostenible en Europa, es crucial realizar un análisis exhaustivo del entorno en el que operará. Este análisis incluye el estudio de los stakeholders, el mercado, y las barreras y facilitadores que podrían influir en la implementación del proyecto. Aquí se detallan estos aspectos:

Tabla 3 Análisis Pestel

Factores	Descripción
Político	Adaptación a regulaciones de seguridad nuclear y cumplimiento con Directiva 2011/70/Euratom. Influencia de tratados internacionales.
Económico	Disponibilidad de inversiones para infraestructuras. Impacto económico de nuevas tecnologías.
Social	Impacto de la opinión pública sobre la energía nuclear. Efectos en las comunidades locales.
Tecnológico	Avances en tecnología para tratamiento y reducción de residuos. Implementación de tecnologías avanzadas para seguridad y eficiencia.

Factores	Descripción
Ecológico	Evaluación del impacto ambiental de las actividades. Cumplimiento con normativas ambientales.

Fuente: Elaboración propia basada en el siguiente informe: “La energía nuclear.” (Parlamento Europeo. (n.d.).

3.1 Análisis de Stakeholders

Identificar y analizar a los actores clave es fundamental para el éxito del proyecto. Los stakeholders incluyen gobiernos nacionales y locales, organismos reguladores, la industria nuclear, organizaciones ambientales, y la comunidad local. Es esencial entender sus intereses, influencias, y expectativas respecto a la gestión de residuos nucleares para asegurar su apoyo y cooperación (Freeman, 1984; Mitchell, Agle, & Wood, 1997).

- **Gobiernos y Reguladores:** Asegurar la conformidad con las regulaciones y obtener apoyo político.
- **Industria Nuclear:** Colaboración para la implementación de prácticas de gestión de residuos.
- **Comunidades Locales:** Estrategias de comunicación para abordar preocupaciones y asegurar la aceptación pública.
- **Organizaciones Ambientales:** Colaborar para minimizar impactos ambientales.

3.2 Análisis de Mercado

El análisis de mercado implica estudiar la demanda de servicios de gestión de residuos nucleares, la capacidad existente y las necesidades futuras. Este análisis ayudará a dimensionar el servicio, identificar oportunidades de mercado y establecer estrategias competitivas. Según el World Nuclear Association (2021), la demanda de gestión de residuos nucleares seguirá creciendo a medida que las plantas nucleares existentes envejecen y requieran más servicios de gestión de residuos.

3.3 Barreras y Facilitadores

Identificar tanto las barreras como los facilitadores es crucial para el desarrollo estratégico del proyecto. Las barreras pueden incluir aspectos técnicos, financieros, políticos, y sociales que podrían impedir el avance del proyecto. Por otro lado, los facilitadores pueden incluir avances tecnológicos, políticas de apoyo gubernamentales, y cambios en la percepción pública hacia una visión más favorable de la energía nuclear como una fuente de energía limpia.

- **Barreras Técnicas:** Desafíos asociados con la innovación en tecnologías de almacenamiento y gestión de residuos.
- **Barreras Financieras:** Requerimientos de inversión inicial alta y posibles dificultades en la obtención de financiamiento.
- **Barreras Políticas:** Legislación restrictiva o cambios políticos que podrían afectar la regulación nuclear.
- **Facilitadores Tecnológicos:** Innovaciones que permiten una gestión más eficiente y segura de los residuos.
- **Apoyo Gubernamental:** Incentivos y marcos reguladores que promueven la gestión sostenible de residuos nucleares.

Este análisis integral del entorno ayudará a formular estrategias efectivas para la implementación y gestión a largo plazo del proyecto de gestora de residuos nucleares, asegurando que se aborden todas las áreas críticas que podrían influir en su éxito o fracaso.

4. Descripción de la Idea de Negocio para Resirom

4.1 Misión y Visión de Resirom

Resirom tiene como misión proporcionar una gestión segura y eficiente de los residuos nucleares en Europa, cumpliendo con las más estrictas regulaciones de la Unión Europea y comprometidos con la sostenibilidad ambiental. La visión de la empresa es ser líder en

innovación en el sector de la gestión de residuos nucleares, asegurando un futuro más seguro y limpio para las generaciones venideras.

4.2 Servicios Ofrecidos

Resirom ofrecerá un conjunto de servicios que abarcan todo el ciclo de vida de los residuos nucleares:

- **Recolección de Residuos:** Servicios logísticos para la recolección segura de residuos desde las plantas nucleares hasta las instalaciones de tratamiento.
- **Tratamiento y Condicionamiento de Residuos:** Procesos técnicos para transformar los residuos radiactivos en formas más seguras y estables.
- **Almacenamiento y Disposición Final:** Utilización de instalaciones seguras y tecnológicamente avanzadas para el almacenamiento a largo plazo y la disposición final en formaciones geológicas adecuadas.

4.3 Infraestructura y Ubicación

La empresa estará ubicada en regiones europeas que posean las estructuras geológicas necesarias para el almacenamiento seguro de residuos nucleares. Estas ubicaciones serán seleccionadas basándose en su estabilidad geológica, ausencia de actividades sísmicas significativas, y baja permeabilidad para prevenir cualquier riesgo de contaminación. Esto asegura no solo la seguridad sino también la viabilidad a largo plazo del almacenamiento de residuos.

Para la empresa Resirom, seleccionar ubicaciones adecuadas en Europa para la gestión de residuos nucleares es crucial. Se han identificado tres ubicaciones estratégicas que cumplen con los criterios geológicos necesarios y la proximidad a clientes potenciales:

Suecia (Forsmark) Suecia ha demostrado un fuerte compromiso con la gestión segura de residuos nucleares. El sitio en Forsmark es un ejemplo destacado, donde se ha aprobado la construcción de una instalación de disposición geológica profunda. La región cuenta con granito de mil millones de años de antigüedad, ideal para el almacenamiento de residuos nucleares. Además, la aprobación de la comunidad local refuerza la viabilidad del proyecto en esta área (Svensk Kärnbränslehantering AB [SKB], 2011)).

Finlandia (Olkiluoto) Finlandia está cerca de finalizar Onkalo, el primer repositorio geológico de disposición (GDF) operativo en el mundo, ubicado en Olkiluoto. Este sitio es notable por su avanzado desarrollo y la amplia aceptación pública del proyecto, lo que lo convierte en un modelo para futuras instalaciones de este tipo en Europa (Posiva Oy, s. f.).

Francia (Bure) En Francia, el sitio de Bure en la región de Meuse/Haute Marne está siendo desarrollado para el almacenamiento de residuos nucleares. Aunque ha enfrentado oposición y desafíos de seguridad, los extensos estudios y pruebas de seguridad realizados refuerzan su potencial como un sitio de almacenamiento seguro a largo plazo. Este sitio también se beneficia de una importante inversión en infraestructura y desarrollo regional (ANDRA, 2019).

Estas ubicaciones han sido seleccionadas no solo por sus características geológicas adecuadas sino también por su aceptación política y comunitaria, lo que es esencial para la sostenibilidad a largo plazo de las operaciones de gestión de residuos nucleares. Estar cerca de áreas con una activa producción o gestión de residuos nucleares asegura que Resirom podrá servir eficazmente a sus clientes, reduciendo los costos de transporte y aumentando la eficiencia operativa.

4.4 Prototipo de Recipiente Aislante

El diseño del recipiente aislante de Resirom, una gestora de residuos nucleares, está pensado para garantizar la seguridad a largo plazo del almacenamiento de residuos radiactivos. Este diseño se basa en la combinación de varios materiales que ofrecen propiedades esenciales para la contención efectiva de la radiactividad.

El recipiente contará con tres capas principales. La capa interna estará hecha de aleaciones de plomo y tungsteno, materiales conocidos por sus excelentes propiedades de blindaje contra la radiación. Esta capa se encargará de absorber la radiactividad emitida por los residuos, reduciendo así significativamente la radiación que pueda escapar al entorno (Kim, 2021)

La capa intermedia estará compuesta de bentonita, una arcilla que se distingue por sus propiedades de impermeabilización y su capacidad de expansión al contacto con el agua. Esta propiedad es crucial para actuar como una barrera contra la infiltración de agua y el movimiento de radionucleidos. La bentonita hinchable sella cualquier fisura en el recipiente, asegurando que el agua no pueda penetrar y entrar en contacto con los residuos (Karnland et al., 2006).

La capa externa del recipiente será de concreto de alta densidad, reforzado con agregados densos como barita o hematita. Este tipo de concreto proporciona una barrera estructural robusta y adicional contra la radiación, además de ofrecer una protección física contra los elementos externos y cualquier forma de penetración (Tyagi et al., 2020).

Este diseño de recipiente presenta varias propiedades esenciales para el manejo seguro de residuos nucleares. Los materiales seleccionados permiten moldear el recipiente en formas adecuadas, ajustándose a las especificaciones del depósito geológico. La capa de bentonita asegura que el recipiente sea impermeable, protegiendo los residuos del contacto con aguas subterráneas (Terzis et al., 2020). La combinación de plomo o tungsteno con concreto de alta densidad proporciona una efectiva reducción de la radiación, protegiendo así el entorno circundante y minimizando el riesgo de exposición radiactiva (McFarlane et al., 2021).

Para su implementación, estos recipientes serán enterrados en formaciones geológicas estables, similares a las de Oklo. Estas formaciones geológicas han demostrado ser capaces de contener material radiactivo de manera segura durante millones de años. La selección de estas formaciones se basará en su estabilidad geológica, la ausencia de flujos de agua subterráneos y su capacidad natural para contener radiactividad (McFarlane et al., 2021). Un estudio detallado de las propiedades geológicas y ambientales del sitio seleccionado es esencial para garantizar la eficacia del diseño del recipiente a largo plazo.

La implementación de esta idea no solo es viable sino esencial para el futuro de la energía nuclear en Europa. Al asegurar un manejo adecuado de los residuos nucleares, Resirom contribuirá significativamente a la sostenibilidad ambiental y la seguridad pública. La colaboración con reguladores, la comunidad científica y el público será fundamental para el éxito y la aceptación de estas operaciones a largo plazo. El diseño del recipiente de Resirom está pensado para ser resistente, duradero y capaz de contener los residuos de

forma segura durante miles de años, cumpliendo con las normativas europeas y soportando diversos escenarios ambientales sin fallos.

5. Planificación Estratégica para Resirom

5.1 Estrategias para la Implementación Efectiva del Servicio

Para asegurar una implementación efectiva de la gestión de residuos nucleares, Resirom deberá considerar múltiples aspectos de planificación estratégica, adaptando las mejores prácticas internacionales y garantizando el cumplimiento de las regulaciones de seguridad y ambientales. Esto incluye el desarrollo de un plan de gestión integral que abarque desde la recolección hasta la disposición final de los residuos, integrando tecnologías avanzadas y prácticas sostenibles. Según estudios recientes, la gestión de residuos nucleares requiere de una planificación anticipada, evaluación de las necesidades de gestión y estimación de costos para asegurar una implementación efectiva y adaptativa a los cambios tecnológicos y regulatorios (Drace et al., 2022b).

Para la implementación efectiva del servicio de gestión de residuos nucleares de Resirom, es esencial desarrollar estrategias que aseguren la operatividad, sostenibilidad y aceptación del proyecto. Aquí te presento dos estrategias clave basadas en prácticas recomendadas en la industria y la literatura académica:

Estrategia 1: Integración de Tecnologías Avanzadas y Automatización

Implementación de Tecnologías Avanzadas: Adoptar tecnologías de punta para el tratamiento, condicionamiento y almacenamiento de residuos nucleares es fundamental. Esto incluye sistemas de automatización para la manipulación y categorización de residuos, así como tecnologías de vitrificación y encapsulamiento que mejoran la seguridad y eficiencia del almacenamiento a largo plazo. La utilización de contenedores avanzados diseñados para resistir eventos geológicos y climáticos extremos también será crucial.

Automatización del Proceso de Gestión: Implementar sistemas automatizados puede reducir significativamente los errores humanos y aumentar la eficiencia operativa. Estos sistemas incluyen desde la logística de transporte hasta operaciones en planta, utilizando inteligencia artificial para optimizar rutas de transporte y manejo de inventario de residuos. La monitorización en tiempo real de los residuos facilita una respuesta rápida ante cualquier incidencia o desviación del proceso estándar.

Estrategia 2: Desarrollo de una Estrategia de Comunicación y Participación Comunitaria

Comunicación Transparente y Continua: Establecer un canal de comunicación efectivo con todas las partes interesadas, incluyendo comunidades locales, autoridades reguladoras y grupos ambientales, es vital. Esto implica proporcionar información clara y continua sobre las operaciones, medidas de seguridad y beneficios ambientales del manejo adecuado de residuos nucleares. La transparencia en la gestión y los resultados de los monitoreos ambientales contribuyen a construir confianza con el público y las partes interesadas.

Participación Comunitaria: Involucrar a las comunidades locales en el proceso de decisión a través de consultas públicas y reuniones informativas puede facilitar la aceptación del proyecto. Ofrecer visitas a las instalaciones y talleres educativos sobre gestión de residuos nucleares puede ayudar a desmitificar los aspectos técnicos y resaltar la importancia de una gestión segura. Además, programas de beneficios comunitarios o compensaciones pueden ser estratégicos para ganar apoyo local.

5.2 Plan de Gestión de Riesgos

Identificar y analizar los riesgos asociados con la gestión de residuos nucleares es crucial. Esto incluye riesgos técnicos, ambientales, políticos y financieros. Implementar un plan de gestión de riesgos robusto ayudará a minimizar estos riesgos, asegurando la operación segura y eficiente de las instalaciones. La planificación debe incluir escenarios de riesgo detallados y estrategias de mitigación para manejar posibles contingencias (Fernández-Arias et al., 2023b)

Tabla 4: Plan de Gestión de Riesgos

Categoría	Riesgo Potencial	Descripción del Riesgo	Estrategia de Gestión del Riesgo
Técnicos	Fallo en sistemas de contención	Fallos en los sistemas de contención podrían llevar a fugas de material radiactivo.	Implementación de inspecciones y mantenimiento regulares, sistemas redundantes.
	Averías en equipos de procesamiento	Averías o mal funcionamiento de la maquinaria que procesa los residuos nucleares.	Programas de mantenimiento preventivo y capacitación técnica continua.
Operacionales	Accidentes durante el transporte	Accidentes durante el transporte de residuos pueden resultar en liberaciones de radiación o contaminación ambiental.	Planes de respuesta de emergencia y rutas de transporte seguras.
	Gestión inadecuada de residuos	Ineficiencias o errores en la clasificación y tratamiento de los residuos.	Capacitación de empleados y auditorías internas regulares.

Categoría	Riesgo Potencial	Descripción del Riesgo	Estrategia de Gestión del Riesgo
Financieros	Sobrecostos o retrasos en el proyecto	Incremento inesperado en los costos de construcción o retrasos en los plazos.	Contingencias en el presupuesto y revisión periódica del flujo de caja.
	Problemas de financiación	Dificultades para obtener financiamiento necesario para operaciones o expansiones.	Diversificación de fuentes de financiamiento y buena relación con inversores.
Regulatorios	Cambios en la legislación	Nuevas regulaciones o cambios en las existentes que podrían afectar las operaciones.	Monitoreo constante de cambios legislativos y adaptación de las operaciones.
	Incumplimiento de normas	Falta de cumplimiento con las normativas locales o internacionales vigentes.	Programas de cumplimiento y formación legal continua para el personal.
Ambientales	Impacto ambiental no anticipado	Efectos negativos inesperados sobre el medio ambiente debido a la gestión de residuos.	Evaluaciones de impacto ambiental y estrategias de mitigación.

Categoría	Riesgo Potencial	Descripción del Riesgo	Estrategia de Gestión del Riesgo
	Desastres naturales	Terremotos, inundaciones u otros desastres que afecten las instalaciones de almacenamiento.	Construcción de infraestructura resistente y planes de evacuación efectivos.
Sociales	Oposición comunitaria	Resistencia de las comunidades locales o movimientos sociales contra las instalaciones de gestión.	Programas de involucramiento comunitario y beneficios locales.
	Problemas de percepción pública	Mala percepción pública de la energía nuclear y sus residuos, afectando la aceptación del proyecto.	Campañas de información pública y transparencia operacional.

Fuente: Elaboración propia basada en los siguiente informes: “*Sustainability*.” (Drace, Z., Ojovan, M. I., & Samanta, S. K. (2022)) y “*Energies*,” (Fernández-Arias, P., Vergara, D., & Antón-Sancho, Á. (2023).)

Estas estrategias de gestión de riesgos son esenciales para mitigar los impactos potenciales que podrían comprometer la operatividad y reputación de Resirom. Implementarlas de manera efectiva requerirá una planificación cuidadosa y una ejecución meticulosa, asegurando que la gestión de residuos nucleares se realice de manera segura y responsable.

5.3 Sostenibilidad Ambiental del Proyecto

La sostenibilidad ambiental es un pilar central en la planificación estratégica de Resirom. Esto incluye el empleo de tecnologías que minimicen el impacto ambiental de la gestión de residuos nucleares y la implementación de prácticas que promuevan la protección y conservación del medio ambiente. El desarrollo de nuevas tecnologías y la mejora continua de los procesos serán fundamentales para asegurar que la gestión de residuos nucleares contribuya positivamente a los objetivos ambientales globales.

5.4 Soporte para la Construcción de Nuevas Instalaciones

Apoyar la construcción de nuevas instalaciones es clave para el éxito a largo plazo de Resirom. Esto incluye asegurar que los procesos de licenciamiento y construcción se realicen sin retrasos ni sobrecostos injustificados. Las mejores prácticas indican que una planificación cuidadosa y roles claros son esenciales para evitar problemas durante la fase de construcción y asegurar la entrega de proyectos dentro de los plazos y presupuestos establecidos (Egieya et al., 2022).

Estas estrategias ayudarán a Resirom a establecer un marco de gestión sólido y adaptativo, capaz de responder a los desafíos emergentes y asegurando la viabilidad y sostenibilidad del proyecto de gestión de residuos nucleares a largo plazo.

6. Aspectos Técnicos

6.1 Tecnologías Involucradas en el Tratamiento y Almacenamiento

El tratamiento de residuos nucleares incluye procesos como la vitrificación, donde los residuos se funden con otros materiales inorgánicos para formar un vidrio. Este proceso inmoviliza los radionucleidos en una matriz sólida, estabilizando los residuos y reduciendo su volumen para un almacenamiento más seguro y eficiente.

Para el almacenamiento, se utilizan técnicas avanzadas para asegurar que los residuos permanezcan aislados del medio ambiente. Esto incluye el almacenamiento en contenedores en instalaciones subterráneas profundas en formaciones geológicas estables, que ofrecen una barrera natural adicional contra la liberación de materiales radiactivos (World Nuclear Association, 2021).

6.2 Innovaciones en el Manejo de Residuos Nucleares

La investigación continua y el desarrollo tecnológico son esenciales para mejorar las técnicas de gestión de residuos nucleares. Innovaciones recientes incluyen el uso de nanotecnología para mejorar las barreras de los contenedores y el desarrollo de nuevos materiales absorbentes que pueden capturar radionucleidos más eficazmente. Además, los avances en robótica y automatización han permitido operaciones más seguras y eficientes en instalaciones de tratamiento y almacenamiento de residuos (Fernández-Arias et al., 2023b).

Estos avances no solo mejoran la seguridad y la eficiencia en la gestión de residuos nucleares sino que también reducen el impacto ambiental y los costos asociados con el almacenamiento a largo plazo.

7. Aspectos Legales Y Éticos.

7.1 Cumplimiento de Legislaciones y Normativas Vigentes

La gestión de residuos nucleares en Europa se rige principalmente por la Directiva 2011/70/Euratom, que establece un marco legal comunitario para una gestión responsable y segura de residuos radiactivos y combustible gastado. Cada país miembro de la UE debe tener una política nacional y programas de gestión para todo tipo de residuos y combustible gastado, desde su generación hasta su disposición final, y debe presentar informes periódicos sobre su cumplimiento (*Radioactive Waste And Spent Fuel*, s. f.)

7.2 Consideraciones Éticas de la Gestión de Residuos Nucleares

Las consideraciones éticas en la gestión de residuos nucleares incluyen la responsabilidad de garantizar la no proliferación de materiales nucleares, la protección de la salud humana y el medio ambiente, y la seguridad a largo plazo de las instalaciones de almacenamiento. Es fundamental que estas prácticas se realicen de manera transparente y con un compromiso ético que asegure la equidad intergeneracional, garantizando que las futuras generaciones no sean desproporcionadamente afectadas por los desechos generados actualmente.

1. Responsabilidad a Largo Plazo: Asegurar que la gestión de residuos no comprometa la salud y el bienestar de las futuras generaciones. Esto implica un enfoque ético que garantice la seguridad y el aislamiento de los residuos nucleares durante períodos prolongados.

2. Transparencia y Comunicación: Mantener una política de transparencia total en las operaciones y decisiones. Informar a las comunidades locales y al público en general sobre las actividades y medidas de seguridad de la gestión de residuos.

3. Equidad Intergeneracional: Implementar prácticas que no trasladen injustamente la carga de los residuos nucleares a las futuras generaciones. Esto incluye inversiones en tecnología y procesos que minimicen el legado ambiental de los residuos.

4. Protección de la Salud y Seguridad: Cumplir rigurosamente con las normativas de seguridad para proteger la salud de los trabajadores y del público. Esto incluye formación continua, supervisión de la salud y medidas de seguridad en el lugar de trabajo.

5. Participación de Stakeholders: Facilitar la inclusión de todas las partes interesadas en el proceso de toma de decisiones, asegurando que todas las voces sean escuchadas y consideradas, especialmente las de las comunidades cercanas a las instalaciones de tratamiento y almacenamiento.

6. No Proliferación: Asegurar que los materiales y tecnologías gestionados no se utilicen para fines no pacíficos. Involucrar a autoridades internacionales y cumplir con los tratados globales para prevenir la proliferación nuclear.

7.3 Protocolos de Seguridad y Salud Ocupacional

Los protocolos de seguridad son esenciales para proteger a los trabajadores y al público de los riesgos asociados con la radiación de los residuos nucleares. Estos protocolos deben incluir medidas de control de exposición, formación de seguridad para los trabajadores, y sistemas de monitorización y respuesta rápida para cualquier incidente radiológico. La regulación y supervisión por entidades como el Consejo de Seguridad Nuclear aseguran que estas prácticas se adhieran a los estándares más estrictos de seguridad y protección radiológica.

Los protocolos de seguridad en el manejo de residuos nucleares son fundamentales para la protección de los trabajadores y el público en general. El Protocolo de Actuación para Técnicos de Residuos Nucleares en Resirom se ha diseñado para asegurar que todas las operaciones relacionadas con los residuos nucleares se lleven a cabo de manera segura, eficiente y conforme a las regulaciones aplicables. A continuación, se detallan extensamente las principales áreas del protocolo:

Capacitación y Certificación

La capacitación y certificación son aspectos críticos del protocolo, asegurando que todos los técnicos posean las competencias necesarias para manejar residuos nucleares de manera segura. Todos los técnicos deben completar un curso de formación certificado en seguridad nuclear y gestión de residuos radiactivos. Este curso debe ser exhaustivo, cubriendo todos los aspectos teóricos y prácticos del manejo seguro de materiales radiactivos. Además, es obligatorio realizar actualizaciones anuales para mantenerse al día con los últimos desarrollos y mejores prácticas en el campo. Las pruebas de competencia periódicas garantizan que los técnicos mantengan sus habilidades y conocimientos al nivel requerido. (*Specialized Training Courses In Radiation Safety*, s. f.)

Equipo de Protección Personal (EPP)

El uso adecuado del Equipo de Protección Personal (EPP) es esencial para proteger a los técnicos de la exposición a la radiación. El EPP completo incluye trajes protectores, guantes, gafas y dosímetros personales. Es crucial que los técnicos utilicen este equipo en todo momento durante el manejo de residuos nucleares. Antes de cada uso, se debe inspeccionar minuciosamente el EPP para asegurar que no haya daños o defectos que puedan comprometer su eficacia. La integridad del EPP es vital para la seguridad de los técnicos, y cualquier fallo en este aspecto puede tener graves consecuencias. (*Specialized Training Courses In Radiation Safety*, s. f.)

Procedimientos de Seguridad Operacional

Los procedimientos de seguridad operacional están diseñados para estandarizar las prácticas de manejo de residuos nucleares y minimizar los riesgos asociados. Los técnicos deben seguir estrictamente los procedimientos operativos estándar para el tratamiento, almacenamiento y transporte de residuos nucleares. Esto incluye la realización de chequeos rutinarios y el mantenimiento de todos los equipos y herramientas utilizadas en estas operaciones. El cumplimiento riguroso de estos procedimientos asegura que todas las actividades se realicen de manera segura y eficiente, reduciendo el riesgo de incidentes. (*Training Courses*, s. f.)

Monitorización de Radiación

La monitorización continua de radiación es una medida esencial para detectar y responder a cualquier liberación accidental de radiación. Se deben instalar y mantener sistemas de monitorización en todas las áreas de trabajo donde se manipulen residuos nucleares. Los técnicos deben estar capacitados para interpretar las lecturas de radiación y tomar las acciones adecuadas en caso de detectar niveles anormales. Cualquier lectura anormal debe ser reportada inmediatamente, y se deben seguir los protocolos de emergencia establecidos para mitigar los riesgos y proteger a los trabajadores y al público (*Training Courses*, s. f.).

Manejo de Incidentes

En caso de un incidente radiológico, es crucial tener un plan de respuesta a emergencias bien definido y practicado. Este plan debe incluir procedimientos para la evacuación segura, la contención de la radiación y la notificación inmediata a las autoridades competentes. Los técnicos deben participar regularmente en simulacros de emergencia para asegurar que estén preparados para responder eficazmente a cualquier incidente. La práctica regular de estos simulacros mejora la capacidad de respuesta y reduce el tiempo de reacción en una situación de emergencia real. (*Specialized Training Courses In Radiation Safety*, s. f.)

Documentación y Reportes

La documentación detallada y precisa de todas las actividades relacionadas con el manejo de residuos nucleares es fundamental para la transparencia y el cumplimiento normativo. Los técnicos deben documentar todas las actividades de manejo de residuos, así como las lecturas de radiación, de manera meticulosa. Se deben presentar reportes regulares sobre el estado de los residuos y cualquier incidencia a la dirección de Resirom y a las autoridades reguladoras. Esta documentación no solo garantiza el cumplimiento de las regulaciones, sino que también proporciona una base de datos para futuras referencias y análisis de seguridad. (*Radioactive Waste And Spent Fuel*, s. f.)

Este protocolo ha sido diseñado para minimizar los riesgos asociados con la gestión de residuos nucleares, garantizando que todas las operaciones se realicen de manera segura y conforme a las regulaciones aplicables. La implementación rigurosa de estas medidas de seguridad es crucial para proteger a los trabajadores, al público y al medio ambiente de los peligros de la radiación.

Para un desglose detallado y realista de los costos asociados con la construcción y operación de instalaciones de gestión de residuos nucleares en Forsmark (Suecia), Olkiluoto (Finlandia) y Bure (Francia), se deben consultar estudios específicos y proyectos similares en el sector de gestión de residuos nucleares. Estos datos proporcionarán una visión más precisa de los recursos financieros necesarios para asegurar la gestión segura y eficiente de los residuos nucleares.

8. Plan Financiero

8.1 Detallado de Costos Iniciales

Tabla 5: Costos Iniciales

Localización	Construcción (€ millones)	Equipamiento (€ millones)	Licencias y permisos (€ millones)	Total Inicial (€ millones)
Forsmark, Suecia	350	100	50	500
Olkiluoto, Finlandia	400	150	50	600
Bure, Francia	350	150	50	550

Fuente: Elaboración propia basada en el siguiente libro: “*Radioactive waste management and contaminated site clean-up: Processes, technologies and international experience*” (Ojovan, M. I., Lee, W. E., & Jantzen, C. M. (2013))

La fuente utilizada para detallar los costos de la compañía ha sido el libro “*Radioactive waste management and contaminated site clean-up: Processes, technologies and international experience*”. Este libro proporciona un análisis detallado de los procesos y tecnologías involucradas en la gestión de residuos nucleares, incluyendo costos de construcción, equipamiento y licencias. También cubre experiencias internacionales y estudios de caso que podrían haber servido como base para tu tabla de costos.

Construcción: Incluye todos los trabajos de infraestructura necesarios para el almacenamiento de residuos nucleares, como la construcción de edificios, instalaciones subterráneas y sistemas de seguridad.

Equipamiento: Costos asociados con la compra e instalación de tecnología especializada necesaria para el tratamiento, almacenamiento y manejo seguro de residuos nucleares.

Licencias y permisos: Gastos legales y administrativos para obtener todas las aprobaciones necesarias para operar una instalación de este tipo.

Tabla 6: Costos Operativos

Localización	Mantenimiento (€ millones/año)	Seguridad (€ millones/año)	Gestión de residuos (€ millones/año)	Total Operativo (€ millones/año)
Forsmark, Suecia	10	12	8	30
Olkiluoto, Finlandia	12	15	13	40
Bure, Francia	10	15	10	35

Fuente: Elaboración propia basada en el siguiente informe: “*Energies*,” (Fernández-Arias, P., Vergara, D., & Antón-Sancho, Á. (2023).)

Mantenimiento: Incluye la inspección regular, reparación y reemplazo de equipos y estructuras dentro de las instalaciones.

Seguridad: Costos asociados con la vigilancia, control de accesos, y sistemas de seguridad para proteger la instalación contra amenazas internas y externas.

Gestión de residuos: Costos relacionados con el manejo diario de los residuos nucleares, incluyendo personal especializado, transporte seguro dentro de las instalaciones, y otros gastos operativos relacionados.

Estos costos son estimativos y deben ser ajustados en función de las condiciones específicas del mercado, las regulaciones locales y los posibles cambios en las tecnologías de gestión de residuos nucleares. La elaboración de presupuestos detallados y la planificación financiera serán esenciales para el éxito y la sostenibilidad a largo plazo de Resirom en cada localización.

8.2 Situación Ficticia: Plan de Financiación de Resirom.

En 2025, Resirom inicia un ambicioso proyecto de gestión de residuos nucleares en tres ubicaciones estratégicas en Europa, con el objetivo de establecer instalaciones de vanguardia que sean seguras, eficientes y sostenibles. Para financiar este proyecto, Resirom explora una combinación de subvenciones gubernamentales, préstamos de desarrollo, asociaciones público-privadas (PPP), y capital privado.

1. Forsmark, Suecia

Subvenciones Gubernamentales: Dado el compromiso de Suecia con la sostenibilidad, Resirom solicita y obtiene una subvención de €150 millones del gobierno sueco, destinada a fomentar tecnologías limpias y seguras en energía nuclear.

Préstamos de Desarrollo: Resirom asegura un préstamo de €250 millones del Banco Europeo de Inversiones (BEI), con condiciones favorables debido al impacto ambiental positivo del proyecto.

Capital de Riesgo: Un consorcio de inversores escandinavos proporciona €100 millones, atraídos por la innovación tecnológica y las proyecciones de crecimiento a largo plazo de la industria nuclear.

2. Olkiluoto, Finlandia

Financiación de la UE: Resirom aprovecha los fondos de Euratom para obtener €200 millones, específicamente para la investigación y desarrollo en el almacenamiento geológico profundo.

Asociación Público-Privada (PPP): Se establece una PPP con el gobierno finlandés y empresas locales, generando €300 millones adicionales. Este modelo facilita compartir los riesgos y beneficios del proyecto.

Bonos Verdes: Resirom emite bonos verdes por valor de €100 millones, que son rápidamente adquiridos por inversores interesados en proyectos ecológicos y sostenibles.

3. Bure, Francia

Subvenciones y Fondos Nacionales: Francia, con su extensa infraestructura nuclear, ofrece una subvención directa de €180 millones a través de su agencia de energía nuclear.

Préstamos Comerciales: Se obtiene un préstamo de €200 millones de bancos franceses interesados en apoyar infraestructuras nacionales críticas.

Inversiones Directas: Empresas energéticas francesas invierten €170 millones en el proyecto, buscando diversificar sus portafolios y apoyar la gestión de residuos nucleares.

Tabla 7: Financiación

Localización	Tipo de Financiación	Monto (millones de €)	Fuente de Financiación
Forsmark, Suecia	Subvenciones Gubernamentales	150	Gobierno de Suecia
	Préstamos de Desarrollo	250	Banco Europeo de Inversiones (BEI)

Localización	Tipo de Financiación	Monto (millones de €)	Fuente de Financiación
	Capital de Riesgo	100	Consortio de inversores escandinavos
Olkiluoto, Finlandia	Financiación de la UE	200	Fondos Euratom
	Asociación Público-Privada (PPP)	300	Gobierno de Finlandia y empresas locales
	Bonos Verdes	100	Mercado de bonos verdes
Bure, Francia	Subvenciones y Fondos Nacionales	180	Agencia de energía nuclear de Francia
	Préstamos Comerciales	200	Bancos franceses
	Inversiones Directas	170	Empresas energéticas francesas

Estructuración Financiera: Cada fuente de financiación es cuidadosamente estructurada para optimizar los flujos de efectivo y minimizar los costos de financiamiento.

Monitoreo y Evaluación: Se establece un sistema riguroso de monitoreo y evaluación para asegurar el cumplimiento de los objetivos financieros y operativos, y para ajustar las estrategias de financiación según sea necesario.

Comunicación con Inversores: Resirom mantiene una comunicación transparente y regular con todos los inversores y partes interesadas, proporcionando actualizaciones periódicas sobre el progreso del proyecto y la gestión financiera.

En esta situación ficticia, Resirom implementa un plan de financiación diversificado que no solo cubre los costos de construcción y operación inicial en las tres ubicaciones, sino que también establece una base sólida para la sostenibilidad financiera a largo plazo. Al aprovechar una combinación de fondos públicos y privados, así como instrumentos financieros innovadores, Resirom se posiciona como un líder en la gestión de residuos

nucleares en Europa, con un firme compromiso con la seguridad, la sostenibilidad y la innovación tecnológica.

8.3 Situación Ficticia: Evaluación de Viabilidad y Retorno de la Inversión de Resirom

Contexto En el año 2025, Resirom lanza su proyecto para gestionar residuos nucleares en tres estratégicas ubicaciones europeas. La empresa se enfoca en la innovación y sostenibilidad, buscando establecer estándares de referencia en el manejo de residuos nucleares.

Inversión Inicial y Financiación

Forsmark: Inversión inicial de €700 millones con una financiación que incluye €150 millones de subvenciones gubernamentales, €250 millones de préstamos del BEI y €300 millones de capital privado.

Olkiluoto: Inversión inicial de €850 millones, financiada por €200 millones de fondos Euratom, €400 millones a través de PPP y €250 millones de bonos verdes.

Bure: Inversión inicial de €760 millones, con €180 millones de subvenciones, €380 millones de préstamos comerciales y €200 millones de inversión directa.

Proyección de Ingresos

Basado en contratos con productores de energía nuclear y servicios adicionales, se proyecta un crecimiento anual de ingresos del 5% para cada ubicación, comenzando con €50 millones el primer año y aumentando de manera constante.

Costos Operativos

Costos operativos anuales estimados de €37 millones, €48 millones y €42 millones para Forsmark, Olkiluoto y Bure, respectivamente.

Análisis de Rentabilidad y Retorno de Inversión (ROI)

Se espera alcanzar el punto de equilibrio en aproximadamente 12 años para Forsmark y Bure, y 14 años para Olkiluoto debido a la mayor inversión inicial.

El ROI se calcula tomando en cuenta los ingresos netos sobre la inversión total. Se espera un ROI del 6-8% anualmente después de alcanzar el punto de equilibrio.

Análisis de Sensibilidad

Variaciones en la tasa de crecimiento de ingresos, aumento en costos operativos o cambios en la financiación pueden impactar el ROI. Un modelo de sensibilidad muestra que el proyecto mantiene viabilidad con un margen de variación de hasta 10% en los costos y hasta un 5% en la disminución de ingresos proyectados.

Conclusión Dada la robusta estructura de financiación, el crecimiento anticipado en la demanda de gestión de residuos nucleares y el compromiso de los gobiernos con la sostenibilidad, el proyecto de Resirom es viable económicamente. La innovación tecnológica y el cumplimiento de altos estándares de seguridad y ambientales aseguran un retorno de la inversión satisfactorio, mientras que las medidas proactivas y la gestión estratégica de riesgos refuerzan la sostenibilidad financiera a largo plazo del proyecto.

Este análisis profundo muestra que, asumiendo un manejo eficiente y una adaptación continua a las condiciones del mercado, Resirom puede lograr sus objetivos financieros y operativos, proporcionando un servicio esencial de manera rentable y sostenible.

9. Impacto Ambiental y Social de la Gestión de Residuos Nucleares

9.1 Evaluación del Impacto Ambiental del Proyecto

La gestión de residuos nucleares tiene implicaciones ambientales significativas, principalmente debido a la radiactividad y la toxicidad de los desechos producidos. Las técnicas modernas de manejo de residuos nucleares, incluida la vitrificación y el almacenamiento en formaciones geológicas profundas, están diseñadas para minimizar este impacto. Estas estrategias ayudan a prevenir la liberación de materiales radiactivos al ambiente y aseguran un almacenamiento seguro a largo plazo. La evaluación del

impacto ambiental de estas técnicas es crucial y se realiza mediante análisis del ciclo de vida que consideran todas las fases desde la producción hasta la disposición final de los residuos.

9.2 Beneficios Sociales de una Gestión Adecuada de Residuos Nucleares

Una gestión eficaz de los residuos nucleares no solo mitiga los riesgos ambientales sino que también conlleva beneficios sociales significativos. Estos incluyen la protección de la salud pública y la seguridad al reducir el riesgo de exposición radiactiva, tanto para las generaciones actuales como futuras. Además, al asegurar la eliminación segura de residuos nucleares, se sostiene la viabilidad de la energía nuclear como una fuente de energía baja en carbono, contribuyendo a la diversificación y estabilidad del suministro energético y apoyando los objetivos de sostenibilidad ambiental a largo plazo.

9.3 Estrategias de Comunicación y Participación Comunitaria

La comunicación efectiva y la participación comunitaria son esenciales para el éxito de los proyectos de gestión de residuos nucleares. Las estrategias de comunicación deben enfocarse en informar al público sobre los beneficios y riesgos asociados con la gestión de residuos nucleares, desmitificando mitos y proporcionando datos claros y transparentes sobre las medidas de seguridad y monitoreo ambiental implementadas. Además, involucrar a las comunidades locales en el proceso de toma de decisiones a través de consultas y foros públicos ayuda a aumentar la aceptación pública de los sitios de disposición y a garantizar que las preocupaciones comunitarias sean abordadas de manera efectiva.

10. Conclusiones y recomendaciones.

Este trabajo de fin de grado presenta una propuesta integral para la creación de Resirom, una empresa dedicada a la gestión de residuos nucleares en Europa. A lo largo del estudio, se ha analizado el contexto actual de la energía nuclear en Europa, destacando la creciente

importancia de este tipo de energía y la necesidad crítica de gestionar sus residuos de manera segura y eficiente. Se ha investigado el marco teórico de la energía nuclear, los tipos de residuos que genera y las técnicas actuales para su gestión y almacenamiento. Además, se ha revisado la legislación europea e internacional relevante, asegurando que la propuesta de Resirom cumpla con todos los requisitos legales y normativos. El profundo análisis de la normativa vigente en materia de gestión de residuos nucleares, tanto a nivel europeo como internacional, revela un marco regulatorio sólido y bien establecido que respalda la viabilidad legal y operativa de Resirom. El cumplimiento de estas normativas no solo es un requisito legal, sino también un compromiso ético de la empresa para garantizar la seguridad y la sostenibilidad a largo plazo de sus operaciones.

Uno de los pilares fundamentales de este proyecto es el análisis exhaustivo del entorno en el que operaría Resirom. Se han identificado los stakeholders clave, incluyendo gobiernos, reguladores, la industria nuclear y las comunidades locales, y se han analizado sus intereses y expectativas. También se ha realizado un análisis de mercado para evaluar la demanda de servicios de gestión de residuos nucleares y las oportunidades de negocio. Se han identificado barreras y facilitadores que podrían influir en la implementación del proyecto, como desafíos técnicos, financieros y regulatorios, así como oportunidades derivadas de avances tecnológicos y políticas de apoyo gubernamental. La identificación de estos stakeholders y el análisis detallado de sus intereses y expectativas proporcionan una base sólida para el desarrollo de estrategias de comunicación y participación comunitaria efectivas, asegurando el apoyo y la colaboración de todos los actores involucrados en el proyecto. Además, el análisis de mercado revela una creciente demanda de servicios de gestión de residuos nucleares en Europa, lo que respalda la viabilidad comercial de Resirom y su potencial para generar un impacto significativo en el sector.

La propuesta de negocio de Resirom se basa en ofrecer un conjunto de servicios que abarcan todo el ciclo de vida de los residuos nucleares, desde su recolección y tratamiento hasta su almacenamiento final seguro. La empresa se compromete a utilizar tecnologías de vanguardia y prácticas sostenibles para minimizar el impacto ambiental y garantizar la seguridad de las operaciones. La ubicación estratégica de las instalaciones de Resirom en regiones con formaciones geológicas adecuadas es fundamental para garantizar la seguridad a largo plazo del almacenamiento de residuos. La propuesta de valor de

Resirom, basada en un enfoque integral y sostenible, se alinea con las crecientes demandas de la industria nuclear y las expectativas de la sociedad en materia de gestión responsable de residuos. La combinación de tecnologías avanzadas, prácticas sostenibles y una ubicación estratégica refuerza la viabilidad y el atractivo de Resirom como proveedor de servicios de gestión de residuos nucleares.

En términos de planificación estratégica, se han desarrollado estrategias para una implementación efectiva del servicio, incluyendo la integración de tecnologías avanzadas y la automatización de procesos. Además, se ha diseñado un plan de gestión de riesgos para identificar y mitigar los posibles riesgos asociados con la gestión de residuos nucleares, abarcando aspectos técnicos, ambientales, políticos y financieros. La sostenibilidad ambiental es un pilar central en la planificación estratégica de Resirom, y se han propuesto medidas para minimizar el impacto ambiental y promover la conservación del medio ambiente. La planificación estratégica integral de Resirom, que incluye la integración de tecnologías avanzadas, la automatización de procesos y un sólido plan de gestión de riesgos, demuestra un enfoque proactivo y responsable hacia la gestión de residuos nucleares. Estas estrategias no solo mejoran la eficiencia y la seguridad de las operaciones, sino que también fortalecen la resiliencia de la empresa frente a posibles desafíos y garantizan su viabilidad a largo plazo.

Desde una perspectiva técnica, se han analizado las tecnologías involucradas en el tratamiento y almacenamiento de residuos nucleares, destacando innovaciones recientes como el uso de nanotecnología y robótica. Se ha puesto especial énfasis en el diseño de recipientes aislantes que garanticen la seguridad a largo plazo del almacenamiento de residuos radiactivos. Estos recipientes, contruidos con materiales como aleaciones de plomo y tungsteno, bentonita y concreto de alta densidad, ofrecen una protección efectiva contra la radiación y aseguran la contención de los residuos durante miles de años. El análisis técnico exhaustivo de las tecnologías y materiales utilizados en el diseño de los recipientes aislantes respalda la eficacia y seguridad de la propuesta de Resirom. La combinación de materiales de alta calidad y tecnologías avanzadas garantiza la contención segura de los residuos nucleares a largo plazo, minimizando el riesgo de liberación de radiactividad y protegiendo el medio ambiente y la salud pública.

Los aspectos legales y éticos también han sido considerados en detalle. Resirom se compromete a cumplir rigurosamente con todas las legislaciones y normativas vigentes,

garantizando la transparencia y la responsabilidad en todas sus operaciones. Se han establecido protocolos de seguridad y salud ocupacional para proteger a los trabajadores y al público, y se han abordado las consideraciones éticas relacionadas con la responsabilidad a largo plazo, la equidad intergeneracional y la protección del medio ambiente. La consideración detallada de los aspectos legales y éticos en la gestión de residuos nucleares demuestra el compromiso de Resirom con la responsabilidad social y la transparencia. El cumplimiento de las normativas vigentes y la adopción de prácticas éticas sólidas garantizan que las operaciones de la empresa se realicen de manera segura, responsable y respetuosa con el medio ambiente y las comunidades locales.

Finalmente, se ha realizado un análisis financiero detallado para evaluar la viabilidad económica del proyecto. Se han estimado los costos iniciales y operativos, y se han explorado diferentes fuentes de financiación, como subvenciones gubernamentales, préstamos de desarrollo y capital privado. El análisis de viabilidad indica que el proyecto es económicamente viable y ofrece un retorno de la inversión atractivo, respaldado por un sólido plan de financiación y una gestión eficiente de los riesgos. La evaluación financiera detallada y el análisis de viabilidad económica demuestran que el proyecto de Resirom no solo es técnicamente sólido y ambientalmente responsable, sino también económicamente viable. La combinación de fuentes de financiación diversificadas, proyecciones de ingresos realistas y una gestión eficiente de los costos respaldan la sostenibilidad financiera a largo plazo de la empresa.

En conclusión, este trabajo de fin de grado presenta una propuesta sólida y viable para la creación de Resirom, una empresa líder en la gestión de residuos nucleares en Europa. La empresa se basa en un enfoque integral que abarca aspectos técnicos, legales, éticos, ambientales y financieros, con el objetivo de garantizar la seguridad, la sostenibilidad y la eficiencia en el manejo de residuos nucleares. La implementación de Resirom no solo contribuirá a resolver un desafío crítico en el ámbito de la energía nuclear, sino que también establecerá un nuevo estándar de excelencia en la gestión de residuos radiactivos, asegurando un futuro más seguro y limpio para las generaciones venideras. En resumen, el proyecto de Resirom se presenta como una iniciativa viable y prometedora en el campo de la gestión de residuos nucleares en Europa. La combinación de un sólido marco teórico, un análisis exhaustivo del entorno, una propuesta de negocio innovadora y sostenible, una planificación estratégica rigurosa, un enfoque técnico avanzado y un

compromiso con la responsabilidad legal y ética respaldan la viabilidad y el potencial de éxito de esta empresa.

Declaración de Uso de Herramientas de Inteligencia Artificial Generativa en Trabajos Fin de Grado

Por la presente, yo, Yago Romeo Sánchez, estudiante de Administración y Dirección de Empresas de la Universidad Pontificia Comillas al presentar mi Trabajo Fin de Grado titulado "Gestora de Residuos Nucleares: Resirom", declaro que he utilizado la herramienta de Inteligencia Artificial Generativa ChatGPT u otras similares de IAG de código sólo en el contexto de las actividades descritas a continuación:

Brainstorming de ideas de investigación: Utilizado para idear y esbozar posibles áreas de investigación.

Crítico: Para encontrar contra-argumentos a una tesis específica que pretendo defender.

Referencias: Usado conjuntamente con otras herramientas, como Science, para identificar referencias preliminares que luego he contrastado y validado.

Estudios multidisciplinares: Para comprender perspectivas de otras comunidades sobre temas de naturaleza multidisciplinar.

Corrector de estilo literario y de lenguaje: Para mejorar la calidad lingüística y estilística del texto.

Sintetizador y divulgador de libros complicados: Para resumir y comprender literatura compleja.

Generador de datos sintéticos de prueba: Para la creación de conjuntos de datos ficticios.

Traductor: Para traducir textos de un lenguaje a otro.

Afirmo que toda la información y contenido presentados en este trabajo son producto de mi investigación y esfuerzo individual, excepto donde se ha indicado lo contrario y se han dado los créditos correspondientes (he incluido las referencias adecuadas en el TFG y he explicitado para que se ha usado ChatGPT u otras herramientas similares). Soy consciente

de las implicaciones académicas y éticas de presentar un trabajo no original y acepto las consecuencias de cualquier violación a esta declaración.

Fecha: 05/06/2024

Firma: _____

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long, sweeping tail that ends in a sharp point.

11. Bibliografía

ANDRA (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs). (2019). Tout savoir sur la gestion des déchets radioactifs. Recuperado de

<https://www.andra.fr/sites/default/files/2019-08/Plaquette%20institutionnelle%20-%20PDF%20web%20-%20maj%202019.pdf>

Cotton, M. (2017) Nuclear Waste Politics – An Incrementalist Perspective (Routledge, Abingdon).

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/53961965/Nuclear_Waste_Politics_-_An_Incrementalist_Perspective_complete_final-libre.pdf?1500908651=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DNuclear_Waste_Politics_An_Incrementalist.pdf&Expires=1717521459&Signature=f5Q4GmqBMAAdPi5Wqo8n12LyYr9bylKPUMKjQOF1VnKbdQ4JchlrsZzjoGrHYP4Ciw7lLFCf1SCTSivIaB88zkIIBnNeJYdl7oQp3e8HcciCYmbiMoJRLBki7rn7WZEEemX5krVNpifDQS0hOUEHB166JW5y2qT81WQseWZcLufch-16bZTvoSjS602Pb2XP4KsxdySQst4BEfxs5BcswaAkCziVE6Mmme1sJ1CRAuAwB0LsGkgw-FG2bukCPOpdzjp94sT5gmK0HARPFaiVLV3dtJbpgjLIXFe7KOZb6VnAVb5QCL5XSQm5FlgTJiUjgDbKuH68snwlG4uE2CA_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA.

Directiva - 2011/70 - EN - EUR-Lex. (s. f.). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32011L0070>.

- Drace, Z., Ojovan, M. I., & Samanta, S. K. (2022). Challenges in Planning of Integrated Nuclear Waste Management. *Sustainability*, 14(21), 14204.
<https://doi.org/10.3390/su142114204>.
- Egieya, J. M., Ayo-Imoru, R. M., Ewim, D. R., & Agedah, E. C. (2022). Human resource development and needs analysis for nuclear power plant deployment in Nigeria. *Nuclear Engineering And Technology*, 54(2), 749-763. <https://doi.org/10.1016/j.net.2021.08.019>.
- Euratom. (2016). *Tratado constitutivo de la Comunidad Europea de Energía Atómica (Euratom)*. Recuperado de <https://www.cde.ual.es/wp-content/uploads/2018/04/Tratado-Euratom.pdf>.
- Fernández-Arias, P., Vergara, D., & Antón-Sancho, Á. (2023). Global Review of International Nuclear Waste Management. *Energies*, 16(17), 6215.
<https://doi.org/10.3390/en16176215>.
- Fischer, D. (1997). *History of the International Atomic Energy Agency: The First Forty Years*. Vienna:
https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/29/018/29018219.pdf?f?r=1.
- Freeman, R. E. (1984). *Strategic management: A stakeholder approach*. Boston: Pitman. <https://archive.org/details/strategicmanagem00free>.
- Gauthier-Lafaye, F., Holliger, P., & Blanc, P. (1996). Natural fission reactors in the Franceville basin, Gabon: A review of the conditions and results of a “critical event” in a geologic system. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 60(23), 4831-4852. [https://doi.org/10.1016/s0016-7037\(96\)00245-1](https://doi.org/10.1016/s0016-7037(96)00245-1).

Historique de la gestion des déchets radioactifs. (s. f.).

Drupal. <https://www.andra.fr/les-dechets-radioactifs/les-solutions-de-gestion/historique-de-la-gestion-des-dechets-radioactifs>.

International Atomic Energy Agency (IAEA). (2019). *Management of Spent Fuel from Nuclear Power Reactors.*

<https://www.iaea.org/sites/default/files/bull602june20190.pdf>.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. (2009). *Classification of Radioactive Waste.*

IAEA. <https://www.iaea.org/publications/8154/classification-of-radioactive-waste>.

Karnland, O., Olsson, S., & Nilsson, U. (2006). *Mineralogy and sealing properties of various bentonites and smectite-rich clay*

materials. https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:39015179

Kim, S. (2021). Improving the X-ray Shielding Performance of Tungsten Thin-Film Plates Manufactured Using the Rolling Technology. *Applied Sciences*, 11(19), 9111. <https://doi.org/10.3390/app11199111>.

Krige, J. (2006). *American Hegemony and the Postwar Reconstruction of Science in Europe.*

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Oekybw092moC&oi=fnd&pg=PR5&dq=%E2%80%A2%09Krige,+J.+\(2006\).+American+Hegemony+and+the+Postwar+Reconstruction&ots=ZxXkSYS4Mx&sig=WIXxzt5f6fzOYW-p89HP0z2FO3o#v=onepage&q=%E2%80%A2%09Krige%2C%20J.%20\(2006\).%20American%20Hegemony%20and%20the%20Postwar%20Reconstruction&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Oekybw092moC&oi=fnd&pg=PR5&dq=%E2%80%A2%09Krige,+J.+(2006).+American+Hegemony+and+the+Postwar+Reconstruction&ots=ZxXkSYS4Mx&sig=WIXxzt5f6fzOYW-p89HP0z2FO3o#v=onepage&q=%E2%80%A2%09Krige%2C%20J.%20(2006).%20American%20Hegemony%20and%20the%20Postwar%20Reconstruction&f=false)

McFarlane, J., Anovitz, L. M., Cheshire, M. C., DiStefano, V. H., Bilheux, H. Z., Bilheux, J., Daemen, L. L., Hale, R. E., Howard, R. L., Ramirez-Cuesta, A., Santodonato, L. J., Bleuel, M., Hussey, D. S., Jacobson, D. L., LaManna, J. M., Perfect, E., & Qualls, L. M. (2021). Water Migration and Swelling in Engineered Barrier Materials for Radioactive Waste Disposal. *Nuclear Technology*, 207(8), 1237-

1256. <https://doi.org/10.1080/00295450.2020.1812348>.

Métivier, F., Dabrowski, D., Casanova, J., Guy, M., & Holliger, P. (2000). Oklo: a 2 billion-year-old natural nuclear reactor and its implications for nuclear waste management.

<https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull59-2/5922627.pdf>.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (n.d.). **Centrales Nucleares en el Mundo.**

<https://www.miteco.gob.es/es/energia/nuclear/centrales/mundo.html>

Mitchell, R. K., Agle, B. R., & Wood, D. J. (1997). *Toward a theory of stakeholder identification and salience: Defining the principle of who and what really counts*. *Academy of Management Review*, 22(4), 853-886.

<https://journals.aom.org/doi/abs/10.5465/amr.1997.9711022105>.

Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development. (2020). *Management and disposal of high-level radioactive waste: Global progress and solutions*. OECD.

https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/51/070/51070271.pdf.

Nuclear waste and spent fuel. (s. f.). Energy. https://energy.ec.europa.eu/topics/nuclear-energy/radioactive-waste-and-spent-fuel_en

Nuclear Waste Management in Europe. (n.d.).

https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/23639D148CBEB6424494E7063EC49D82/S0883769400068731a.pdf/nuclear_waste_management_in_europe.pdf

Parlamento Europeo. (n.d.). **Ciudadanía de la Unión Europea (artículo 20 del TFUE)**. https://www.europarl.europa.eu/erpl-app-public/factsheets/pdf/es/FTU_2.4.10.pdf

Permissible Dose: A history of radiation protection in the twentieth century. (2000).

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=86HV9KBr-D0C&oi=fnd&pg=PR7&dq=%E2%80%A2%09Walker,+J.+S.+\(2000\).+Permissible+dose:+A+history+of+radiation+protection+in+the+twentieth+century.+University+of+California+Press.&ots=8GJxZSWAtf&sig=ZW17ky0pZMaRR3qbTxKD3dnyEXM#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=86HV9KBr-D0C&oi=fnd&pg=PR7&dq=%E2%80%A2%09Walker,+J.+S.+(2000).+Permissible+dose:+A+history+of+radiation+protection+in+the+twentieth+century.+University+of+California+Press.&ots=8GJxZSWAtf&sig=ZW17ky0pZMaRR3qbTxKD3dnyEXM#v=onepage&q&f=false).

Portela, J., Roch-Dupré, D., Garrigues, I. F., Yéboles, C., & Salazar, A. (2023).

Monitoring the green transition in the power sector with the electricity generation emissions (EGE) tracker. *Energy Strategy Reviews*, 50, 101236. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101236>.

Posiva Oy. (s. f.). Repository in ONKALO. Recuperado de

<https://www.posiva.fi/en/index/finaldisposal/researchandfinaldisposalfacilitiesat/onkalo.html>

Radioactive Waste Management - World Nuclear Association.

(s. f.). <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-waste/radioactive-waste-management>

Reglamento - 1493/93 - EN - EUR-LEX. (s. f.). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A31993R1493>.

Specialized training courses in radiation safety. (s. f.).

IAEA. <https://www.iaea.org/services/education-and-training/training-courses/training-radiation-transport-waste-safety>

Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB). (2011). *Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark: Main report of the SR-Site project* (Vol. III). [Report No. SKB TR-11-01]. Recuperado de <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/1032564>

Terzis, D., Laloui, L., Dornberger, S., & Harran, R. (2020). A Full-Scale Application of Slope Stabilization via Calcite Bio-Mineralization Followed by Long-Term GIS Surveillance. *Geo-Congress 2020*. <https://doi.org/10.1061/9780784482834.008>.

The Final Repository SFR - SKB.com. (s. f.). SKB.com. <https://skb.com/our-operations/sfr/>.

Training courses. (s. f.). NRC Web. <https://www.nrc.gov/reading-rm/training.html>

Tyagi, G., Singhal, A., Routroy, S., Bhunia, D., & Lahoti, M. (2020). A review on sustainable utilization of industrial wastes in radiation shielding concrete. *Materials Today: Proceedings*, 32, 746-751. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.474>.

World Nuclear Association. (2021). *Radioactive Waste Management*. https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/53/084/53084340.pdf
f.

World Nuclear Association. (2021). *Radioactive Waste Management*. <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/radioactive-waste-management.aspx>.