

ANÁLISIS ESTRATÉGICO EN LA GESTIÓN DE UN REACTOR DE INVESTIGACIÓN*

Rocío DEL PILAR SOLÍS PILLACA**

<https://orcid.org/0000-0002-3878-9233>

Universidad Nacional Mayor de San Marcos,
Facultad de Ingeniería Industrial, Lima, Perú

Recibido: 12 de enero del 2023 / Aceptado: 13 de febrero del 2023

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2023.n44.6187>

RESUMEN. Los reactores de investigación juegan un papel fundamental en el desarrollo de las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear. Este aporte incluye su participación en la medicina, industria, ciencia, investigación y educación. Por ello, y con la finalidad de aprovechar al máximo su utilización, se requiere de una planificación estratégica. Para tal fin, se empleó la herramienta FODA como base del análisis estratégico y del planeamiento requerido en la gestión de la utilización de los reactores de investigación, cuyo resultado permite identificar las necesidades de todas las partes interesadas y gestionar el impacto de estas para una oportuna toma de decisiones. El objetivo es garantizar la continuidad del funcionamiento seguro y sostenible del reactor de investigación existente en el marco de potenciales inversiones por modificaciones y ampliaciones en sus instalaciones.

PALABRAS CLAVE: reactores nucleares / investigación científica / planificación estratégica / control de gestión

* Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

** Autor corresponsal.

Correos electrónicos en orden de aparición: rociodelpilar.solis@unmsm.edu.pe

STRATEGIC ANALYSIS IN RESEARCH REACTOR MANAGEMENT

ABSTRACT. Research reactors play a fundamental role in the development of peaceful applications of nuclear energy. This encompasses their contributions to medicine, industry, science, research and education. Strategic planning is therefore required to take full advantage of their use. To this end, the SWOT tool was employed as the basis for the strategic analysis and planning required to manage the utilization of research reactors, the result of which makes it possible to identify the needs of all stakeholders as well as manage their impact in order to make timely decisions with the goal of ensuring the continuity of the existing research reactor's safe and continuous operation in the context of a potential investment in the modification and expansion of its facilities.

KEYWORDS: nuclear reactors / research / strategic planning / management control

1. INTRODUCCIÓN

Un reactor de investigación es un reactor nuclear destinado esencialmente para la generación de flujos de neutrones y radiación ionizante, los cuales son usados para la investigación y desarrollo de aplicaciones en la industria (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2016). Los reactores de investigación, destinados a la producción de neutrones, son de menor tamaño que los reactores nucleares de potencia, cuya principal función es la de generar electricidad (Mattar & Jawerth, 2019).

De acuerdo con Feruta (2019), los reactores de investigación representan una herramienta significativa para promover la investigación y las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear. Contribuyen, mediante la producción de radiofármacos, al diagnóstico y tratamiento de las enfermedades oncológicas. Además de sus aportes en aplicaciones industriales, agrícolas y químicas, entre otras especialidades. Asimismo, los reactores de investigación son herramientas sofisticadas que se utilizan con fines de investigación aplicados en los campos de la física, radioquímica, análisis por activación, ciencias de los materiales, entre otros (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2014). Debido a la diversidad de aplicaciones que los reactores de investigación proveen a la población mundial, también son denominados como reactores multipropósito; sin embargo, las aplicaciones que se les asignen y para lo que se utilicen dependerá de su diseño y de sus propietarios. Durante las últimas décadas, los reactores de investigación han realizado cuantiosas contribuciones al desarrollo científico y a la investigación. Sus aportes han sido considerados en los ensayos de materiales, producción de radioisótopos para la medicina y la industria, incluso para la educación y capacitación (Dodd et al., 2002).

Dentro de la diversa gama de aplicaciones de los reactores de investigación, se tienen las siguientes:

Patrimonio cultural. Para el estudio de los objetos de patrimonio cultural como cerámicos, telares o monumentos, se utilizan diversas combinaciones de metodologías nucleares y atómicas tales como fluorescencia de rayos X y espectroscopía, entre otras. Cada una de ellas puede aplicarse de forma aislada o conjunta con la finalidad de incrementar y profundizar la calidad del análisis requerido (Appoloni, 2018).

Medioambiente. Los elementos radiactivos presentes en el ambiente son una herramienta útil para evaluar y comprender los procesos que ocurren en él. La expansión de la agricultura sobre formaciones vegetales naturales ha acelerado los procesos de degradación del suelo en los últimos años; ciertos elementos radiactivos han demostrado ser una herramienta eficaz y asequible para evaluar las tasas de erosión y sedimentación que permitan desarrollar e implementar estrategias de conservación (Esquivel et al., 2021).

Producción de radioisótopos. La aplicación más fomentada en la producción de radioisótopos en los reactores de investigación es la ligada a la medicina nuclear, a través de la cual se obtienen los radiofármacos empleados en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades oncológicas. La producción de radioisótopos de aplicación en medicina mediante reactores se basa en dos tipos de reacciones nucleares: captura de neutrones y fisión de elementos pesados (Llordén Alonso, 2021).

Análisis de materiales. Los neutrones, al ser elementos ligeros, permiten una mayor sensibilidad de estudio frente a la utilización de rayos X. Debido a ello, ambas técnicas son utilizadas de forma complementaria para obtener un estudio y análisis completo de todos los componentes o elementos que conforman una determinada muestra (Mattar & Jawerth, 2019).

Generación de nuevos elementos. La irradiación por neutrones que se da en los reactores de investigación permite la creación de nuevos elementos y materiales. Mattar & Jawerth (2019) señalan como ejemplo la irradiación del silicio con neutrones con la finalidad de modificar su conductividad para ser utilizado como un semiconductor de alta potencia.

De acuerdo con la Base de Datos de Reactores de Investigación, elaborada por el Organismo Internacional de Energía Atómica (2022), actualmente existen 841 instalaciones de reactores de investigación ubicadas en 70 distintos países en el mundo. Hay 222 reactores actualmente operativos; 24 planificados o en construcción y 595 en parada prolongada o permanente, en desmantelación o desmantelados. Adicionalmente, se debe considerar que una gran cantidad de estas instalaciones fueron diseñadas y construidas en las décadas del sesenta y setenta del siglo pasado; por lo que más de la mitad de estos reactores de investigación tienen una antigüedad superior a los 40 años (Mattar & Jawerth, 2019).

En el Perú se cuenta con dos reactores nucleares de investigación: el reactor RP-10, de una potencia térmica de 10 MW y elementos combustibles de siliciuro de uranio, el cual se encuentra actualmente en funcionamiento y está ubicado en el Centro Nuclear Óscar Miró Quesada RACSO, localizado en el distrito de Carabayllo; y el reactor RP-0, de una potencia térmica de 1 W, localizado en el distrito de San Borja, cuya parada prolongada se encuentra en proceso. Cabe precisar que, mientras la finalidad del reactor nuclear RP-0 es la investigación y la enseñanza, la función principal del reactor RP-10 es la producción de radioisótopos, el análisis de elementos y la investigación.

De acuerdo con Peeva (2019), los países se muestran conscientes en maximizar la utilización de sus reactores de investigación existentes, e incluso algunos han iniciado la construcción de nuevas instalaciones nucleares o planificado empezarla. La idea es aplicar la diversidad de usos con los que cuenta este tipo de instalaciones

relacionados a la investigación, la producción de radioisótopos para aplicaciones médicas e industriales, entre otros.

En el caso de nuevos reactores de investigación, la planificación estratégica proporciona una mejor comprensión de las necesidades de las partes interesadas, pues permite definir las especificaciones técnicas del reactor y sus instalaciones auxiliares con el fin de optimizar su uso futuro. Por otro lado, para los reactores de investigación existentes, la planificación estratégica contribuye a la reevaluación de las necesidades de las partes interesadas y su oportuna gestión, de forma tal que garantice la sostenibilidad de sus operaciones y su máximo aprovechamiento.

La planificación estratégica de los reactores de investigación es un proceso clave para garantizar la utilización eficiente y optimizada de los reactores existentes y nuevos (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2017). Los principales motivos para la elaboración de un plan estratégico se rigen para:

- Planificación de un nuevo reactor de investigación.
- Continuidad en el funcionamiento seguro y sostenible de un reactor de investigación existente.
- Inversiones en la modificación y reacondicionamiento de un reactor de investigación existente.

Por lo señalado, resulta esencial desarrollar un plan estratégico detallado que identifique a todas las partes interesadas, cuya gestión permita mantener y optimizar la utilización de los reactores de investigación, a fin de garantizar la sostenibilidad de sus operaciones (Boeck, 2019). Este documento deberá basarse en la planificación estratégica, la cual es un enfoque de gestión adoptado en las compañías actuales pues se considera una práctica de éxito en las instituciones públicas y privadas con resultados positivos para el rendimiento de la organización (George et al., 2019).

En el contexto descrito, un plan estratégico es el documento utilizado para comunicar los objetivos organizacionales y las acciones requeridas para lograr esos objetivos. Se utiliza para garantizar la buena gobernanza de cualquier reactor de investigación, desde los activos críticos más pequeños hasta los reactores nucleares más grandes (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2017). Por lo tanto, un plan estratégico debe proporcionar un marco para la operación continua de los reactores de investigación; así como para el incremento de su utilización y la optimización futura de sus operaciones. Asimismo, se debe tener presente que un reactor de investigación bien gestionado contribuye positivamente a atender las necesidades nacionales de la población y al desarrollo socioeconómico de su país.

Bajo este escenario, para una asertiva toma de decisiones, las organizaciones a cargo de los reactores nucleares deben efectuar un análisis estratégico que permita

identificar a todos los actores involucrados en la utilización de sus instalaciones y en su aplicación en los rubros de la industria, medicina e investigación. Tomemos en cuenta que la planificación estratégica es el proceso de la formulación e implementación de decisiones sobre la dirección futura de una organización (Kerzner, 2019). Se utiliza ampliamente para el análisis en contextos deliberativos que ayuden a los líderes y directivos a abordar con éxito los principales retos a los que se enfrenta su organización (Bryson, 2018).

En relación al análisis estratégico de los reactores nucleares de investigación, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), en el 2017, elaboró el documento titulado “Strategic Planning for Research Reactors”, a fin de que sirva de referencia para sus Estados miembros; así, se recomienda el empleo de la herramienta FODA.

A lo largo de las últimas décadas, han surgido numerosas definiciones de la herramienta FODA que han contribuido a forjar la imagen y la relevancia que este instrumento puede tener en la gestión de una empresa u organización (Pereira et al., 2021). FODA es una herramienta vital para la planificación mediante la cual se identifican las fortalezas (F), debilidades (D), oportunidades (O) y amenazas (A) (Benzaghta et al., 2021), evaluando dichos aspectos como parte de un determinado proyecto (Agyekum et al., 2020).

El análisis FODA es un instrumento crucial para que los gerentes e inversores la utilicen con el fin de desarrollar estrategias sistemáticas para la toma de decisiones. Sus resultados ayudan a las empresas a mejorar sus ventajas, investigar nuevas posibilidades e intentar minimizar o eliminar cualquier riesgo potencial del mercado. La técnica analítica FODA es ampliamente reconocida por los investigadores del sector energético para comprender la situación general de esta industria (Phadermrod et al., 2019).

En ese mismo sentido, el análisis FODA —también conocido como matriz FODA— tiene en consideración tanto actores internos como externos, donde los “aspectos de fortaleza” y los “aspectos de debilidad” están relacionados con los actores o variables internos de la organización. Los “aspectos fuertes” son aquellos que le otorgan ventaja a la compañía sobre sus competidores, y los “débiles” son características inherentes a la organización que suponen una desventaja frente a la competencia. Por otro lado, las “oportunidades” y “amenazas” se encuentran ligadas al entorno de la empresa, toda vez que las primeras son escenarios que pueden ser explotados en beneficio de la organización, mientras que las “amenazas” son aquellas que pueden significar algún tipo de inconveniente o problema para la empresa (Teoli et al., 2019). Por ende, es importante señalar que todos los recursos que están a disposición de la empresa deben permitir impulsar su desempeño mediante sus fortalezas, considerando que la rentabilidad y sus ventajas competitivas pueden verse afectadas por sus debilidades (Uhunamure & Shale, 2021).

En el caso de los reactores de investigación, se utiliza la técnica FODA como metodología de análisis con la finalidad de coadyuvar en la toma de decisiones, tanto en

el caso de nuevas instalaciones de reactores de investigación como en las existentes. En este contexto, se debe considerar que la estrategia seleccionada debe aprovechar los aspectos fuertes de forma conjunta con las oportunidades, gestionar las debilidades a la vez que se establecen acciones para mitigar, evitar o eliminar las amenazas identificadas (Abdel-Basset et al., 2018). Para ello, este análisis no debe ser un proceso aislado, sino formar parte de una evaluación integral, teniendo en cuenta los recursos actuales y futuros de la organización (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2017).

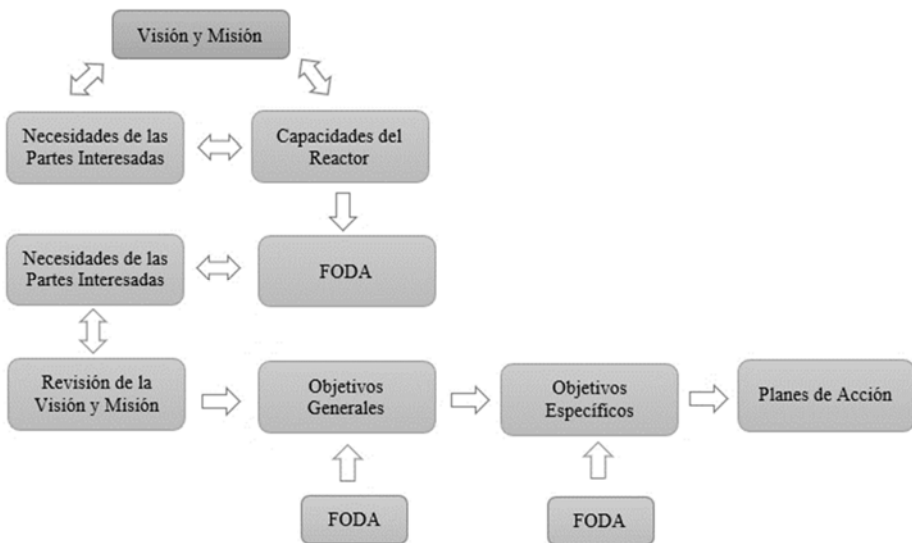
En este contexto, como parte del análisis estratégico de los reactores de investigación, se utiliza la herramienta FODA para la identificación de las partes interesadas involucradas; esta permite gestionar sus necesidades con la finalidad de que la organización opte por la mejor estrategia para garantizar la continuidad del funcionamiento seguro y sostenible del reactor de investigación existente. Esto, con la mira puesta en potenciales inversiones para modificaciones y ampliaciones en sus instalaciones.

2. METODOLOGÍA

Para el análisis estratégico del reactor nuclear de investigación, se empleó el documento emitido por el Organismo Internacional de Energía Atómica en el 2017, titulado: "Strategic Planning for Research Reactors" (Figura 1).

Figura 1

Planeamiento estratégico en reactores de investigación



Nota. Adaptado de "Strategic Planning for Research Reactors" (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2017).

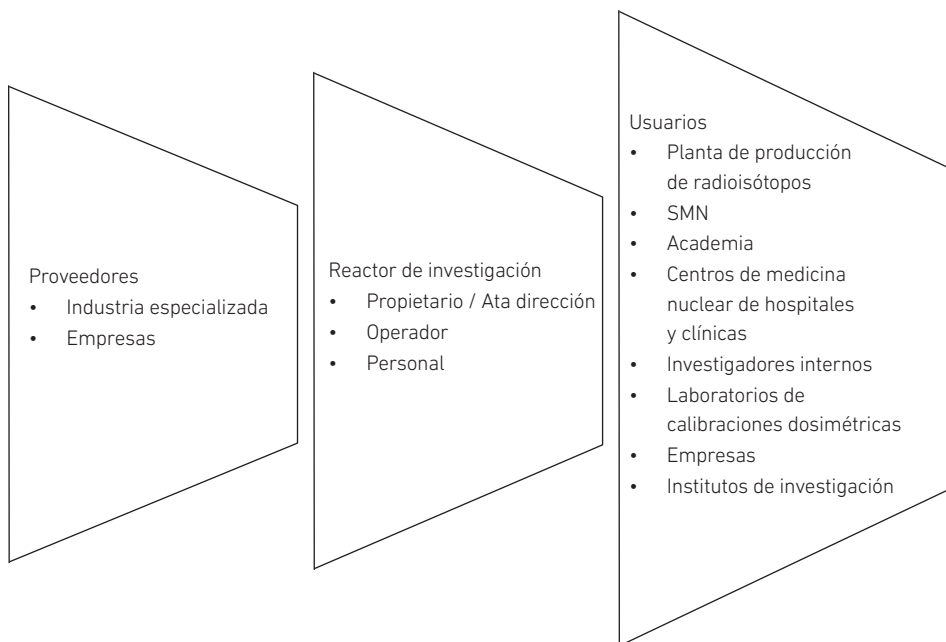
2.1 Identificación de partes interesadas

Los grupos de interés o partes interesadas son las personas e instituciones que presentan un interés directo o indirecto o tienen una implicancia en el funcionamiento del reactor, o que pudiesen verse afectados o afectar sus actividades. Como parte de la metodología empleada, se identifican las partes interesadas existentes, las cuales pueden ser internas o externas a la organización.

En la Figura 2, se muestran las partes interesadas identificadas.

Figura 2

Identificación de partes interesadas



La Tabla 1 presenta una breve descripción del rol de las partes interesadas (internas y externas) intervinientes en el funcionamiento del reactor.

Tabla 1*Descripción de las partes interesadas*

| Categoría de las partes interesadas | Denominación de la parte interesada | Rol esperado |
|--|---|---|
| Proveedores | | |
| Industria especializada | Industria nuclear especializada | Suministro de combustible nuclear. |
| Empresas | Empresas nacionales e internacionales | Suministro de bienes y servicios para la operación y mantenimiento del reactor. |
| Reactor nuclear de investigación | | |
| Propietario / Alta dirección | Presidencia de la institución | Resolver y tomar decisiones transversales a toda la organización, gestionar los recursos y las operaciones. |
| Operador | Director de producción | El director de producción es el responsable del funcionamiento y mantenimiento del reactor para el logro de los objetivos establecidos. |
| Personal | Trabajadores | El personal ejecuta todas las actividades y tareas operativas del reactor. |
| Usuarios | | |
| Planta de Producción de Radioisótopos | Planta de Producción de Radioisótopos | Los radioisótopos producidos se transfieren a la actual Planta de Producción de Radioisótopos (PPR), donde se procesan y se envían los radiofármacos a los centros de medicina nuclear. |
| SMN | Sociedad de Medicina Nuclear | Promover y sensibilizar al público sobre los beneficios de la medicina nuclear. |
| Academia | Universidades | Establecer convenios, realizar cursos de formación y desarrollar proyectos de investigación. |
| Centros de medicina nuclear de hospitales y clínicas | Centros de medicina nuclear (usuarios indirectos) | Transferir información que permita enlazar los productos y servicios del reactor con los requerimientos médicos. |
| Institución | Investigadores internos | Evaluar los parámetros de diseño y funcionamiento del reactor. Estudiar la conformación y comportamiento de los elementos mediante la irradiación de muestras. |
| Institución | Laboratorio de Calibraciones Dosimétricas | Utilización de radioisótopos dentro del proceso de calibración de monitores de radiación. |
| Industria | Empresas nacionales e internacionales | Uso de radioisótopos en la industria metalúrgica para controles de calidad de uniones soldadas y radios trazadores en la industria agrícola e hidrocarburos. |
| Institutos de investigación | Institutos de investigación | Desarrollar proyectos de investigación para optimizar los procesos, servicios y productos del reactor. |

(continúa)

(continuación)

| Categoría de las partes interesadas | Denominación de la parte interesada | Rol esperado |
|--|---|--|
| Sociedad civil | | |
| Sociedad civil | Población cercana al centro nuclear | La población cercana o en los alrededores del centro nuclear representa un potencial riesgo de conflicto o resistencia al funcionamiento del reactor. |
| Ente regulador, entidades gubernamentales y organizaciones nucleares internacionales | | |
| Ente regulador | Autoridad regulatoria | Establecer normas y regulaciones de seguridad nuclear. Vigilar e inspeccionar su cumplimiento en la protección de las personas, medioambiente e instalaciones. |
| Gobierno | Ministerios de Energía y Minas, Salud y Economía | Proporcionar el apoyo y respaldo técnico, económico y político requerido para el funcionamiento sostenible del reactor. |
| Organismos internacionales | Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) | Apoyar al país y al reactor en la realización de programas de cooperación técnica en temas de seguridad nuclear, salvaguarda y protección radiológica. Además, llevar a cabo misiones de expertos internacionales en tópicos que guarden relación directa con los reactores de investigación. Promover los beneficios en las aplicaciones de la energía nuclear y su utilización en la medicina. |

2.2 Identificación de las necesidades de las partes interesadas

La Tabla 2 presenta las necesidades (actuales, existentes y futuras) y los requerimientos de las partes interesadas; además, incluye la clasificación del poder y el interés (alto o bajo) que la parte interesada tiene sobre el reactor y la necesidad que esto conlleva.

Tabla 2

Necesidades de las partes interesadas

| Categorías de las partes interesadas | Denominación de la parte interesada | Requerimientos y necesidades | Poder | Interés |
|--------------------------------------|-------------------------------------|--|-------|---------|
| Proveedores | | | | |
| Industria especializada | Industria nuclear especializada | Actual: Combustible nuclear suministrado por proveedor extranjero | Alto | Bajo |
| Categorías de las partes interesadas | Denominación de la parte interesada | Requerimientos y necesidades | Poder | Interés |

(continúa)

(continuación)

| | | | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|---|------|------|
| Empresas | Empresas nacionales e internacionales | Actual: Industria nacional que suministra los bienes y servicios para sostener el mantenimiento y operación del reactor. | Bajo | Bajo |
| Reactor nuclear de investigación | | | | |
| Propietario / Alta dirección | Presidencia de la institución | Actual: Ingresos por productos y servicios del reactor aportan al presupuesto institucional anual. Irradiación para la producción de radioisótopos se efectúa 2 días/semana. Futura: Irradiación para la producción de radioisótopos se efectúa de forma mínima cuatro días por semana. Diversificación en la producción de radioisótopos. | Alto | Alto |
| Operador | Director de producción | Actual: Capacidad operativa utilizada de la instalación menor al 20 %. Futura: Capacidad operativa utilizada de la instalación debe ser mayor al 90 %. | Alto | Alto |
| Personal | Trabajadores | Actual: El 100 % del personal operador del reactor cuenta con licencia individual. Personal de mantenimiento no posee licencia individual. Futura: Establecimiento de un plan de carrera. El 100 % del personal que mantiene el reactor cuenta con licencia individual. | Alto | Alto |

(continúa)

(continuación)

| Categorías de las partes interesadas | Denominación de la parte interesada | Requerimientos y necesidades | Poder | Interés |
|--|---|---|-------|---------|
| Usuarios | | | | |
| Planta de Producción de Radioisótopos | Planta de Producción de Radioisótopos | Actual: Radioisótopos para la manufactura de Tc-99 m y I-131. Futura: Definir un proyecto para el aumento de la capacidad de procesamiento en un plazo no mayor a dos años. Aumento de la producción y procesamiento de radioisótopos en un 150 %. | Alto | Alto |
| SMN | Sociedad de Medicina Nuclear | Futura: Conformar equipos de trabajo para el desarrollo de nuevos radiofármacos. | Bajo | Alto |
| Academia | Universidades | Actual: Dictado de la maestría en Ciencias en Energía Nuclear. Futura: Curso anual, especialización o diplomado de formación en física nuclear, protección radiológica y radiofarmacia para un mínimo de 25 alumnos. Presentación de proyectos de investigación relacionados a la diversificación de los servicios y productos del reactor. | Bajo | Alto |
| Centros de medicina nuclear de hospitales y clínicas | Centros de medicina nuclear (usuarios indirectos) | Futura: Diversificación de radiofármacos. Aumentar en un 20 % los radiodiagnósticos médicos. | Bajo | Alto |

(continúa)

(continuación)

| Categorías de las partes interesadas | Denominación de la parte interesada | Requerimientos y necesidades | Poder | Interés |
|--------------------------------------|---|--|-------|---------|
| Institución | Investigadores internos | Actual: Operación del reactor en baja y alta potencia para evaluar sus parámetros de diseño y funcionamiento. Operación del reactor para irradiación de muestras que permita estudiar la conformación y el comportamiento de sus elementos. Futura: 200 h/año de las instalaciones para irradiación por estudio de muestras aplicables en patrimonio, agricultura e hidrografía. | Alto | Alto |
| Institución | Laboratorio de Calibraciones Dosimétricas | Actual: Utilización de radioisótopos en sus procesos de calibración de monitores de radiación. Futura: Diversificación de radioisótopos. | Bajo | Alto |
| Industria | Empresas nacionales e internacionales | Actual: Utilización de radioisótopos para controles de calidad de uniones soldadas, y de radio trazadores en la industria de hidrocarburos. Futura: Diversificación de radioisótopos. | Alto | Alto |
| Institutos de investigación | Institutos de investigación | Futura: 100 h/año de las instalaciones para experiencias en proyectos e investigación. | Bajo | Alto |

(continúa)

(continuación)

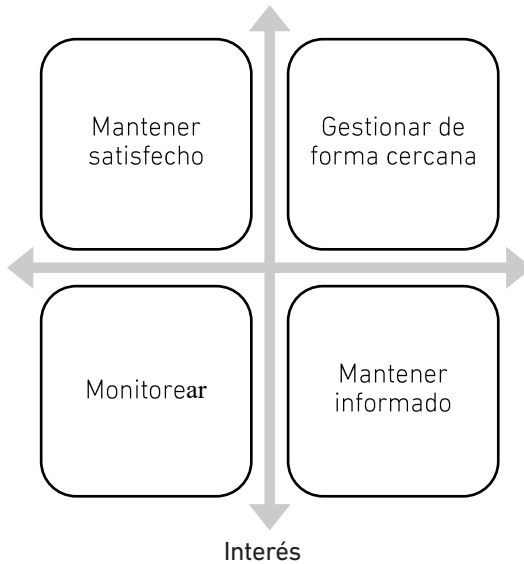
| Categorías de las partes interesadas | Denominación de la parte interesada | Requerimientos y necesidades | Poder | Interés |
|--|---|--|-------|---------|
| Sociedad civil | | | | |
| Sociedad civil | Población cercana al Centro Nuclear | Actual: Divulgación en redes sociales: información sobre los múltiples beneficios (económicos y sociales) del reactor. Visitas guiadas a las instalaciones. Futura: Realizar encuestas de percepción en la población cercana. | Bajo | Alto |
| Ente regulador, entidades gubernamentales y organizaciones nucleares internacionales | | | | |
| Ente regulador | Autoridad regulatoria | Actual: Renovación de la licencia de operación. Requisitos sobre el programa de envejecimiento del reactor. Cumplimiento de los límites y condiciones operacionales, y auditorías de salvaguardas. | Alto | Alto |
| Gobierno | Ministerios de Energía y Minas, Salud y Economía | Actual: Limitación en la asignación del presupuesto gubernamental para cubrir los costos de operación. Suministro garantizado de Tc-99m y I-131 al mercado nacional. | Alto | Alto |
| Organismos internacionales | Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) | Actual: Participar en al menos un 85 % de los eventos del OIEA como cursos y reuniones técnicas en seguridad nuclear, salvaguarda, protección radiológica y en tópicos que guarden relación directa con los reactores de investigación. | Alto | Alto |

2.3 Análisis de las necesidades

Según la clasificación del poder y el interés de las partes interesadas, se tendrán en cuenta diferentes estrategias para responder a las necesidades identificadas acorde con la Figura 3.

Figura 3

Análisis de las necesidades



Nota. Adaptado de "Stakeholder Analysis" (Mind Tools Content Team, 2022)

Tras el análisis respectivo, se efectuó la evaluación de los requisitos y necesidades con los criterios "poder" e "interés". En base a ello, se identificó que nueve requerimientos y necesidades de las partes interesadas deben tener una atención especial y ser gestionados de cerca. Estos están relacionados a las siguientes partes interesadas: el propietario / alta dirección, el operador, el personal, Planta de Producción de Radioisótopos, investigadores internos, industria, ente regulador, el gobierno y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Por otro lado, cinco requerimientos y necesidades de las partes interesadas se clasificaron como "mantener informado", uno se clasificó como "mantener satisfecho" y otro se identificó como "monitorear", pudiendo clasificarse como "no crítico".

3. RESULTADOS

3.1 Análisis FODA: fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas

Se realizó un análisis estratégico de los factores externos e internos que pueden influir tanto positiva como negativamente en el cumplimiento de los objetivos del reactor. El análisis consiste en analizar el contexto externo identificando oportunidades y amenazas, y el contexto interno, también identificando fortalezas y debilidades.

Se asume como factor interno todo hecho, acción o consideración que tenga lugar dentro de las responsabilidades del director de producción y sus descendientes jerárquicos. El campo de los factores externos está definido por todo aquello que excede la definición de lo anterior. Los factores considerados se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3

Factores internos y externos

| Factores internos | Factores externos |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Recursos humanos Infraestructura del reactor Aspecto financiero Actividades y procesos Experiencia | <ul style="list-style-type: none"> Mercado y tendencias Escenario nacional y mundial Financiamiento Legislación Medioambiente Política |

3.2 Identificación de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas

A partir de la información del análisis interno y externo realizado, se clasificaron en fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas que conformaron la matriz FODA.

Tabla 4

Factores internos y externos

| Fortalezas | Debilidades |
|---|---|
| F1 Personal calificado. | D1 Insuficiente asignación de recursos humanos. |
| F2 Apoyo institucional en la gestión del reactor. | D2 Insuficiente desarrollo comercial y de marketing. |
| F3 Demanda nacional de radioisótopos asegurada. | D3 Dependencia del presupuesto gubernamental para financiar la operación del reactor. |
| F4 Operación segura del reactor. | D4 Equilibrio presupuestario dependiente de las ventas de Tc-99, m y I-131. |
| F5 Personal investigador al interior de la organización | D5 Personal en edad de jubilación |

(continúa)

(continuación)

| | Oportunidades | Amenazas |
|----|--|---|
| 01 | Disminución en la oferta mundial de radioisótopos. | A1 Tecnologías emergentes que podrían sustituir a los radioisótopos. |
| 02 | Aumento de la demanda internacional de radioisótopos. | A2 Nuevos competidores directos. |
| 03 | Mayor demanda local de radioisótopos. | A3 Incertidumbre sobre la disponibilidad del presupuesto gubernamental para la operación del reactor. |
| 04 | Proyecto de construcción de una nueva Planta de Producción de Radioisótopos. | A4 Limitación en la capacidad de procesamiento de la Planta de Producción de Radioisótopos existente. |
| 05 | Diversidad de usuarios por los productos y servicios del reactor. | |

3.3 Aspectos básicos del FODA

Fortalezas

- **Personal calificado.** El personal perteneciente al departamento de operación y a la organización participó, en su mayoría, en el proyecto de construcción y puesta en marcha del reactor de investigación con un amplio conocimiento de la instalación y su conformación. Así, se cuenta con personal especialista con más de veinte y treinta años de experiencia en el sector nuclear y, específicamente, en el funcionamiento de reactores de investigación.

Adicionalmente, es importante señalar que el personal operador cuenta con licencias individuales acorde con los lineamientos establecidos por la Autoridad Regulatoria Nuclear.

- **Apoyo institucional en la gestión del reactor nuclear de investigación.** La organización ha sido responsable de la operación y utilización del reactor de investigación por muchos años. Esto le ha permitido obtener una amplia experiencia en la gestión de este tipo de instalaciones, pues cuenta con el conocimiento necesario para brindar sostenibilidad al funcionamiento del reactor y a la atención oportuna de sus requerimientos.
- **Demanda nacional de radioisótopos asegurada.** Considerando que el reactor nuclear de investigación representa al único productor de radioisótopos en el país, se tiene una demanda nacional garantizada por los diversos sectores productivos e industriales. En este mismo escenario, se debe tener presente que el reactor de investigación es el único proveedor de la Planta de Producción

de Radioisótopos; por lo cual, los productos, obtenidos a través de sus procesos de irradiación, cuentan con un usuario asegurado.

- **Operación segura del reactor.** La operación del reactor se realiza cumpliendo los lineamientos señalados en la licencia de operación otorgada por la Autoridad Regulatoria Nuclear, así como según lo establecido en los límites y condiciones que complementan dicho documento. Asimismo, se efectúan tareas de inspección y pruebas a los equipos y sistemas que conforman el reactor. Estas representan actividades preliminares a su operación con la finalidad de minimizar y eliminar cualquier potencial eventualidad que pudiera surgir durante su funcionamiento. Adicionalmente, se lleva a cabo la supervisión constante de sus operaciones garantizando la seguridad nuclear y fiabilidad operativa.
- **Personal investigador al interior de la organización.** Se identificaron investigadores en las diferentes áreas y en los laboratorios con los que cuenta la organización. Este personal es poseedor de la calificación y experiencia para llevar a cabo ensayos, análisis e investigaciones mediante el uso de técnicas nucleares aplicables en los diferentes ámbitos de la industria.

Oportunidades

- **Disminución en la oferta mundial de radioisótopos.** Se debe considerar que el mercado de los radioisótopos cuenta con una demanda permanente de sus productos, utilizados en los diversos sectores productivos. De ese modo, las paradas temporales, prolongadas o permanentes de otros reactores de investigación en el mundo, por temas operativos y de mantenimiento, representan oportunidades significativas para la identificación y obtención de nuevos usuarios.
- **Aumento de la demanda internacional de radioisótopos.** Se tiene en cuenta que el radiofármaco pertechnetato de sodio (Tc-99m) es el principal insumo, a nivel mundial, utilizado en la evaluación médica por imágenes. Este permite a los especialistas médicos establecer un diagnóstico certero de los pacientes. En este contexto, en el sector de la medicina nuclear, existe una tendencia creciente en la demanda de este fármaco a nivel internacional, así como de su precursor radiactivo: molibdeno 99 (Mo99).
- **Mayor demanda local de radioisótopos.** Se espera que el Gobierno nacional incluya en su cartera de proyectos el referido al aumento de la capacidad productiva de la Planta de Producción de Radioisótopos; con lo que se estima que, en un periodo de 8 a 10 años, la nueva planta requiera del 100 % de la capacidad operativa del reactor de investigación. A este escenario, se añan

las proyecciones de contar con un mayor número de centros de medicina nuclear en el país.

- **Proyecto de construcción de una nueva Planta de Producción de Radioisótopos.** Se considera que el Gobierno nacional evalúe y planifique la ampliación de la capacidad de procesamiento de la Planta de Producción de Radioisótopos. La idea es que el diseño de esta nueva instalación se encuentre en función de la capacidad de producción de radioisótopos del reactor de investigación.
- **Diversidad de usuarios por los productos y servicios del reactor.** Se requiere determinar los mecanismos que permitan diversificar e incrementar los usuarios que hacen uso de los productos y servicios del reactor nuclear existente. Debe tomarse en consideración la capacidad productiva de diferentes radioisótopos y sus aplicaciones en distintos rubros industriales.

Debilidades

- **Insuficiente asignación de recursos humanos.** A fin de dar cumplimiento a los planes operativos de la organización, se requiere de recursos humanos especializados en cantidad suficiente en cada una de las áreas intervinientes en la operación del reactor de investigación. Sin embargo, se cuenta con un presupuesto limitado para tal fin, lo que supone una asignación insuficiente de personal para las actividades planificadas.
- **Insuficiente desarrollo comercial y de marketing.** La organización no cuenta con un área o departamento que gestione la diversificación de los productos y servicios que ofrece el reactor de investigación, en atención a las necesidades existentes y futuras de los usuarios. Este escenario significa no tener la posibilidad de ampliar la cantidad de los productos y servicios ofertados a nivel comercial ni aumentar la cantidad de usuarios o expandir la utilización del reactor a otros sectores industriales.
- **Dependencia del presupuesto gubernamental para financiar la operación.** El reactor nuclear de investigación pertenece a una entidad pública, la cual se encuentra a cargo de sus operaciones y utilización; por lo que el presupuesto requerido para la adquisición y contratación de los recursos que brinden sostenibilidad al funcionamiento y mantenimiento de esta instalación depende del financiamiento gubernamental. Bajo este escenario, no existe certeza en contar con todos los recursos económicos necesarios para la operación del reactor de investigación.
- **Equilibrio presupuestario dependiente de las ventas de Tc-99 m y I-131.** En el actual escenario, el reactor nuclear de investigación pertenece a una

entidad pública; por ello, su presupuesto se encuentra supeditado al financiamiento gubernamental disponible, el cual es impreciso de definir o resulta insuficiente. En este contexto, la organización cuenta con recursos financieros propios, obtenidos de la comercialización de los radiofármacos: pertecnetato de sodio (Tc-99 m) y yoduro de sodio (I-131); estos ingresos le permiten obtener un balance presupuestario para la adquisición y contratación de los recursos necesarios para la operación de sus instalaciones.

- **Personal en edad de jubilación.** Se tiene presente que una cantidad significativa del personal del departamento de operación y en la organización se encuentra cercano a la edad de retiro (jubilación); este escenario responde a que este mismo personal forma parte de la compañía desde antes de la puesta en marcha del reactor nuclear de investigación.

Amenazas

- **Tecnologías emergentes que podrían sustituir a los radioisótopos.** Se consideran las potenciales tecnologías en investigación y desarrollo para el diagnóstico y tratamiento médico que no requieren del uso de radioisótopos para el cumplimiento de sus fines. De concretarse la implementación y utilización de estas tecnologías alternativas, estas desplazarían la demanda de los radiofármacos en el mercado de la medicina nuclear.
- **Nuevos competidores directos.** Contempla la presencia e implementación de planes o proyectos comerciales cuyo público y mercado objetivo estén incluidos en los actuales sectores de aplicación del reactor nuclear de investigación. Esto podría ocasionar un potencial acaparamiento de usuarios y clientes de la organización.
- **Incertidumbre sobre la disponibilidad del presupuesto gubernamental para la operación del reactor.** La sostenibilidad de las operaciones del reactor de investigación depende del financiamiento gubernamental; por ello, se deben considerar los escenarios políticos y económicos que nos permitan conocer, de forma precisa, la disponibilidad del presupuesto que será asignado por el Gobierno nacional a la entidad a cargo del reactor. Permitirá ver si el presupuesto resultará suficiente para llevar a cabo las actividades de operación y mantenimiento requeridas en la instalación.
- **Limitación de la capacidad de procesamiento de la Planta de Producción de Radioisótopos existente.** La actual Planta de Producción de Radioisótopos cuenta con una capacidad de procesamiento que no se encuentra a la par con la capacidad productiva del reactor; representa una limitación para el funcionamiento y utilización del reactor de investigación, toda vez que este debe

operar para la obtención de radioisótopos, acorde con la menor capacidad de la planta de producción.

3.4 Matriz análisis FODA

Con las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas identificadas, se realiza un análisis cruzado de los factores internos y externos, como figura en la Tabla 5. De este modo, se identifican las conclusiones obtenidas de las relaciones entre los factores.

Cada conclusión es valorada de acuerdo con su importancia e impacto, y solo se consideran las de mayor valor. Para ello, se asignan tres (03) puntos al de prioridad más alta, dos (02) puntos al siguiente, un (01) punto al tercer más alto y, finalmente, cero en caso de que la opción no sea viable.

Tabla 5

Matriz de análisis

| Matriz FODA | | Oportunidades | | | | | Amenazas | | | |
|-------------|----|---------------|----|----|----|----|----------|----|----|----|
| | | O1 | O2 | O3 | O4 | O5 | A1 | A2 | A3 | A4 |
| Fortalezas | F1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | F2 | 1 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| | F3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | F4 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| | F5 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| Debilidades | D1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | D2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| | D3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| | D4 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| | D5 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 |

Las principales conclusiones obtenidas del análisis FODA son:

Análisis fortalezas-oportunidades (estrategia ofensiva):

- Establecer contacto con el Gobierno nacional a través de la institución para impulsar el proyecto de la nueva Planta de Producción de Radioisótopos.
- Evaluar la posibilidad de exportar el exceso de oferta de radioisótopos, teniendo presente que hasta contar con la ampliación de la capacidad de procesamiento de la Planta de Producción de Radioisótopos se tendría una capacidad operativa ociosa en el reactor de investigación.

Análisis debilidades-oportunidades (estrategia de confrontación):

- Elaborar e implementar un plan de recursos humanos que permita renovar, de forma oportuna, al personal que se encuentra próximo a la jubilación.

Análisis fortalezas-amenazas (estrategia de fortalecimiento):

- Establecer una red de contactos, a través de la institución, con otras organizaciones a nivel internacional que se encuentren a cargo de reactores de investigación.

Análisis debilidades-amenazas (estrategia de defensa):

- Establecer un plan de comercialización y márketing que garantice las ventas de los radiofármacos Tc-99 m y I-131.
- El plan de comercialización y márketing incluye establecer contactos con potenciales clientes y usuarios.

En la Tabla 6, se toma cada conclusión para analizar y obtener posibles acciones estratégicas clasificadas en cuatro categorías.

Tabla 6

Factores internos y externos

| Conclusión FODA | Acciones | | | |
|---|--|---|---|--|
| | Se puede hacer | Podría ser hecha | No se puede hacer | No se desea hacer |
| Fortalezas-oportunidades | | | | |
| Impulsar el proyecto de una nueva planta de producción de radioisótopos | Compartir el expediente técnico económico del proyecto con el Gobierno nacional | Establecer contacto con las partes interesadas relacionadas | Asignar recursos económicos adicionales | Asumir la gestión del proyecto de la nueva planta de producción de radioisótopos |
| Evaluar la posibilidad de exportar el exceso de oferta de radioisótopos | Realizar un estudio de mercado para analizar la viabilidad económica de la exportación | Contratar un máximo de dos personas para efectuar el estudio de mercado | Dejar sin suministro el mercado nacional de Tc-99 m y I-131 | Modificar las instalaciones del reactor de investigación |

(continúa)

(continuación)

| Conclusión FODA | Acciones | | | |
|--|---|---|--|--|
| | Se puede hacer | Podría ser hecha | No se puede hacer | No se desea hacer |
| Debilidades-oportunidades | | | | |
| Elaborar e implementar un plan de recursos humanos para renovar el personal próximo a la jubilación | Coordinar con la unidad de recursos humanos para la asignación de un responsable | Asignar a un personal responsable por parte del reactor para el trabajo en conjunto | Contratar a personal externo | Generar inconvenientes o conflictos con el sindicato |
| Fortalezas-amenazas | | | | |
| Establecer una red de contactos con otras organizaciones a nivel internacional a cargo de reactores de investigación | Proponer un proyecto de cooperación técnica al Organismo Internacional de Energía Atómica | Reuniones con la dirección de otros reactores de investigación | Enviar personal a otros reactores de investigación con recursos económicos propios | No tomar en cuenta lecciones aprendidas en la gestión de otros reactores similares |
| Debilidades-amenazas | | | | |
| Establecer un plan de comercialización y márketing que garantice las ventas de los radiofármacos Tc-99 m y I-131 | Establecer contactos con potenciales usuarios e interesados | Firmar contratos y órdenes de compra que garanticen un vínculo comercial | Contratar una consultoría externa con recursos económicos propios | Modificar las instalaciones del reactor de investigación |

Con la información obtenida en la Matriz FODA, se procede a evaluar su pertinencia, acorde con la Tabla 7, donde el símbolo “+” indica el grado de disponibilidad favorable para el tópico en evaluación.

Tabla 7*Matriz de interacción*

| | Conclusión del FODA | Operador | Partes interesadas | Márketing | Finanzas | Licencia de operación | Debería ser realizado |
|----------------|---|----------|--------------------|-----------|----------|-----------------------|-----------------------|
| Se puede hacer | Compartir el expediente técnico económico del proyecto con el Gobierno nacional (por la nueva planta de producción de radioisótopos) | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ |
| | Realizar un estudio de mercado para analizar la viabilidad económica de la exportación del exceso de oferta de radioisótopos | +++ | ++ | ++ | + | +++ | ++ |
| | Coordinar con la unidad de recursos humanos para la asignación de un responsable (por la elaboración de un plan de recursos humanos para renovar el personal próximo a la jubilación) | +++ | +++ | ++ | ++ | +++ | +++ |
| | Proponer un proyecto de cooperación técnica al Organismo Internacional de Energía Atómica (para establecer una red de contactos) | +++ | +++ | +++ | ++ | ++ | +++ |
| | Establecer contactos con nuevas partes interesadas (para un plan de comercialización y márketing) | ++ | +++ | +++ | +++ | + | +++ |

De los resultados obtenidos, se tiene que los planes de acción que deberían ser incluidos en la planificación estratégica de un reactor de investigación están relacionados con:

- Compartir el expediente técnico económico del proyecto con el Gobierno nacional para impulsar el proyecto de una nueva planta de producción de radioisótopos.
- Coordinar con la unidad de recursos humanos para la asignación de un responsable de elaborar e implementar un plan de recursos humanos para renovar el personal próximo a la jubilación.
- Elaborar un plan de comercialización y marketing que establezca contactos con potenciales clientes y usuarios para la diversificación de los productos y servicios que ofrece el reactor de investigación, en atención a sus necesidades existentes y futuras.
- Elaborar y proponer un proyecto de cooperación técnica al Organismo Internacional de Energía Atómica para establecer una red de contactos con otras organizaciones, a nivel internacional, a cargo de las operaciones de reactores de investigación.

4. DISCUSIÓN

La metodología utilizada contribuye en resultados, acorde con los lineamientos establecidos por el Organismo Internacional de Energía Atómica (2017), el cual establece que el análisis y planeamiento estratégico es un proceso clave para asegurar una utilización eficiente y optimizada de los reactores nucleares de investigación.

La gestión estratégica ayuda a las organizaciones públicas y otras entidades a alcanzar objetivos importantes y crear valor público (Bryson & George, 2020); por ello, el análisis estratégico de los reactores de investigación es de suma importancia, con miras a una oportuna toma de decisiones en cuanto a los directivos e inversionistas, dado que permite contar con una visión en las operaciones y utilización de este tipo de reactores, según los recursos disponibles y futuros de la organización.

Considerando el estado situacional de los reactores de investigación y que más del 70 % de los que se encuentran en funcionamiento llevan operando por más de 30 años (Piwowarski, 2020), es de vital importancia contar con un plan de capacidades del recurso humano que permita su renovación con la finalidad de garantizar la sostenibilidad de las operaciones. Esta renovación debe efectuarse de forma oportuna a fin de asegurar la transferencia de conocimiento y experiencia del personal próximo a jubilarse.

Existe una demanda creciente por el uso de radiofármacos (compuestos que contienen fármacos y radioisótopos utilizados para la obtención de diagnóstico por

imágenes y el tratamiento de neoplasias), lo que genera un aumento significativo de la demanda de este tipo de productos en los centros de medicina nuclear en todo el mundo. Considerando que la mayor parte de la producción a gran escala de los radioisótopos necesarios para los radiofármacos se lleva a cabo en reactores de investigación (Kastanya, 2022), las proyecciones en la utilización de estas instalaciones deben ir de la mano con la planta de producción de radioisótopos; sabiendo que el radionúclido obtenido en las instalaciones del reactor debe ser procesado en la planta correspondiente al sector a atender: medicina nuclear o industria. Por lo cual, es esencial que informe del análisis financiero del reactor y el caso de negocio sea compartido con el Gobierno o con fondos de inversión, a fin de que el plan estratégico involucre toda la cadena productiva.

5. CONCLUSIONES

La herramienta FODA, con sus cuatro dimensiones, permite obtener una real dimensión de las partes interesadas intervinientes en una gestión logrando que la institución a cargo pueda tomar decisiones oportunas.

Es conveniente que el planeamiento estratégico de los reactores de investigación se realice de forma previa al inicio de sus operaciones, de forma tal que permita contar con el marco para el aprovechamiento máximo de sus instalaciones y la programación óptima de su funcionamiento, y así cumplir con su misión y objetivos estratégicos. Adicionalmente, este planeamiento también debe desarrollarse cuando se consideren inversiones para la modificación y reacondicionamiento de un reactor de investigación existente.

La planificación estratégica es un proceso clave para garantizar la utilización eficiente y optimizada de los reactores de investigación; así como asegurar la continuidad en el funcionamiento seguro y sostenible de un reactor de investigación existente. Por ello, el análisis estratégico propuesto sobre un reactor nuclear de investigación existente es el *input* principal frente a su planificación estratégica. Forma parte esencial de un plan estratégico de utilización de estas instalaciones.

El presente trabajo resulta como referencia en la gestión de los reactores de investigación en todo el mundo, con especial énfasis en los reactores nucleares de investigación de América Latina, con los cuales comparten similares factores socioculturales.

Del análisis FODA realizado, se evidencia que una de las principales fortalezas detectadas en la instalación es contar con personal altamente calificado y con una vasta experiencia en el sector nuclear. Este escenario le permite a la institución llevar a cabo una gestión del conocimiento que garantice la sostenibilidad de las operaciones del reactor, a largo plazo, mediante la identificación, captura y transferencia del conocimiento nuclear crítico.

La construcción de una nueva planta de producción de radioisótopos debe ser evaluada y considerada como una excelente oportunidad para disponer de una ubicación geográfica estratégica para la comercialización de los productos que allí se manufacturen. Además, permitiría incrementar su capacidad de procesamiento acorde con la capacidad de producción de radioisótopos del reactor de investigación.

El análisis FODA llevado a cabo demuestra la necesidad de contar con un área o departamento específico que gestione la diversificación de los productos y servicios que ofrece o podría ofrecer el reactor de investigación. Esto permitiría ampliar la cantidad de productos y servicios ofertados a nivel comercial e incrementar la cantidad de usuarios.

Resulta fundamental que la organización gestione la diversificación de los productos y servicios que ofrece el reactor de investigación existente, en atención a las necesidades actuales y futuras de los usuarios, con la finalidad de asegurar la sostenibilidad de sus operaciones. Asimismo, ello permitirá ampliar la cantidad de usuarios a través de la expansión en la utilización del reactor a otros sectores de investigación e industriales.

REFERENCIAS

- Abdel-Basset, M., Mohamed, M., & Smarandache, F. (2018). An extension of neutrosophic AHP–SWOT Analysis for Strategic Planning and Decision-Making. *Symmetry*, 10(4), 116. <https://doi.org/10.3390/sym10040116>
- Agyekum, E., Sanka, M., & Afornu, K. (2020). Nuclear energy for sustainable development: SWOT analysis on Ghana's nuclear agenda. *Energy Reports*, 6, 107-115. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.11.163>
- Appoloni, C. (2018). Estudos em arqueometria e arte por metodologias nuclear-atômico-moleculares não destrutivas no laboratório de física nuclear aplicada da Universidade Estadual de Londrina. *Cadernos do Lepaarq*, 15(30), 219-228. <https://doi.org/10.15210/lepaarq.v15i30.13011>
- Benzaghta, M., Elwalda, A., Mousa, M., Erkan, I., & Rahman, M. (2021). SWOT analysis applications: An integrative literature review. *Journal of Global Business Insights*, 6(1), 55-73. DOI: 10.5038/2640-6489.6.1.1148
- Boeck, H. (2019). Mantener la sostenibilidad de los reactores de investigación. *IAEA Bulletin*, 60(4), 34-35. <https://www.iaea.org/es/bulletin/mantener-la-sostenibilidad-de-los-reactores-de-investigacion>
- Bryson, J. (2018). *Strategic Management for Public and Nonprofit Organizations*. New Jersey: Wiley.

- Bryson, J., & George, B. (2020). *Strategic Management in Public Administration*. https://www.researchgate.net/publication/337472823_Strategic_Management_in_Public_Administration
- Dodd, B., Dolan, T., Laraia, M., & Ritchie, I. (2002). Perspectives on research reactor utilization. *Physica B: Condensed Matter*, 311(1-2), 50 - 55. https://www.researchgate.net/publication/222230474_Perspectives_on_research_reactor_utilization
- Esquivel, A., Kodama, Y., Villarreal, J., Juri Ayub, J., González, G., & Tejedor-Flores, N. (2021). *Técnicas nucleares y su versatilidad para la utilización y estudio de diversos procesos*. Panamá: XVIII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología. <https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3080>
- Feruta, C. (2019). Aprovechar la potencia de los reactores de investigación. *IAEA Bulletin: Los reactores de investigación*, 60(4), 1. <https://www.iaea.org/es/bulletin/reactores-de-investigacion/aprovechar-potencia-cornel-feruta>
- George, B., Walker, R., & Monster, J. (2019). Does strategic planning improve organizational performance? A meta-analysis. *Public Administration Review*, 79(6), 810-819. <https://doi.org/10.1111/puar.13104>
- Kastanya, D. (2022). On the use of average power in predicting radioisotope productions. *Annals of Nuclear Energy*, 165. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2021.108648>
- Kerzner, H. (2019). *Using the project management maturity model: strategic planning for project management*. New Jersey. <https://www.perlego.com/book/993128/using-the-project-management-maturity-model-strategic-planning-for-project-management-pdf>
- Llordén Alonso, M. (2021). *Aplicaciones de los radioisótopos en medicina*. España. http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Mllorden/Llorden_Alonso_Marta_Maria_TFM.pdf
- Mattar, E., & Jawerth, N. (2019). Los reactores de investigación y su uso. *IAEA Bulletin: Los reactores de investigación*, 60(4), 4-5. <https://www.iaea.org/es/bulletin/reactores-de-investigacion/usos-de-los-reactores-de-investigacion>
- Mind Tools Content Team. (2022). *Stakeholder analysis*. Obtenido de Mind Tools: <https://www.mindtools.com/aol0rms/stakeholder-analysis>
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2014). *Applications of research reactors, IAEA nuclear energy series N.º NP-T-5.3*. Viena. https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1627_web.pdf
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2016). *Safety of research reactors, IAEA Safety standards series N.º SSR-3*. Viena. https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1751_web.pdf

- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2017). *Strategic planning for research reactors, IAEA nuclear energy series N.º NG-T-3.16*. Viena. https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1212_prn.pdf
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2022). *Research Reactor Database*. Recuperado de <https://nucleus.iaea.org/rrdb/#/home>
- Peeva, A. (2019). El aprovechamiento estratégico de los reactores de investigación. *IAEA Bulletin: Los reactores de investigación*, 60(4), 20-21. <https://www.iaea.org/es/bulletin/el-aprovechamiento-estrategico-de-los-reactores-de-investigacion>
- Pereira , L., Pinto, M., Lopes da Costa, R., Dias, Á., & Gonçalves , R. (2021). The new SWOT for a sustainable world. *Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(1), 1-31. <https://doi.org/10.3390/joitmc7010018>
- Phadermrod, B., Crowder, R., & Wills, G. (2019). Importance-performance analysis based SWOT analysis. *International Journal of Information Management*, 44, 194-203. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2016.03.009>
- Piwowarski, B. (2020). *Ageing management of concrete structures in MARIA research reactor*. Barcelona. https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:52011165
- Teoli, D., Sanvictores, D., & An, J. (2019). SWOT analysis. *StatPearls Publishing*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537302/>
- Uhunamure, S., & Shale, K. (2021). A SWOT analysis approach for a sustainable transition to renewable energy in South Africa. *Sustainability*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/su13073933>

