



La adopción de la energía nuclear en Colombia y su relación con la geopolítica nacional

Mayor (EJC) Jesus Emilio Miranda Zamora

Artículo para optar al título profesional:

Magister en Estrategia y Geopolítica

Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"

Bogotá D.C., Colombia

2023

DATOS GENERALES	
Nombre del estudiante	: Mayor (EJC) Jesus Emilio Miranda Zamora
Identificación	: 10.777.738
Programa académico	: Maestría en Estrategia y Geopolítica
Tutor metodológico	: CT. Karol Tatiana Pereira
Tutor temático	: CT. Karol Tatiana Pereira
Fecha de entrega	:
Extensión	:

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD Y CESIÓN DE DERECHOS

El autor declara que este artículo fue escrito de acuerdo con la normatividad de la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto” (ESDEG) y no existe ningún potencial conflicto de interés relacionado con este. Las posturas y aseveraciones presentadas son resultado de un ejercicio académico e investigativo que no representan la posición oficial ni institucional de la ESDEG, las Fuerzas Militares de Colombia o el Ministerio de Defensa Nacional.

Este artículo es enteramente mi propio trabajo y no ha sido presentado para la obtención de un título en esta u otra Institución de Educación Superior. Se han referenciado todos los trabajos y puntos de vista de otros autores, así como los datos de otras fuentes utilizadas. No se emplearon herramientas de generación de contenido por Inteligencia Artificial para su elaboración.

El autor acepta ceder los derechos de publicación en favor de la ESDEG y su Sello Editorial de acuerdo con los términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento-No Comercial-Sin Obras Derivadas.

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

El autor autoriza que este artículo sea publicado por el Sello Editorial ESDEG en su repositorio institucional y esté disponible bajo una modalidad de acceso abierto.

La adopción de la energía nuclear en Colombia y su relación con la geopolítica nacional

The adoption of nuclear energy in Colombia and its relationship with national geopolitics

MY. (EJC) Jesus Emilio Miranda Zamora¹

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Resumen: El uso de la energía nuclear en Colombia y en América latina se ha convertido en un tabú. Después de la segunda guerra mundial se inicia un desarrollo importante en la energía nuclear, por el cual se hace necesario regular su utilización y comprometer a las principales potencias mundiales a su uso pacífico. La evolución en países latinoamericanos como es el caso de Argentina es notable, en lo energético, la medicina y en el tema militar. El presente artículo busca mostrar la importancia de adoptar la energía nuclear en Colombia los retos geopolíticos que tiene que afrontar el Estado, con el fin de convertirse en una potencia emergente, ya que no solo se es rico en agua, también en minerales radioactivos que son combustibles nucleares.

Palabras clave: minerales radioactivos, geopolítica, energía nuclear, tratados, potencias nuclear.

Abstract: The use of nuclear energy in Colombia and Latin America has become a taboo. After the World War II, there was an important development in nuclear energy, which made it necessary to regulate its use and commit the main world powers to its peaceful use. The evolution in Latin American countries such as Argentina is notable, in energy, medicine and the military topic. This article seeks to show the importance of adopting nuclear energy in Colombia, the geopolitical challenges that the State must face, in order to become an emerging power, since it isn't only rich in water, also in radioactive minerals that are nuclear fuels.

Keywords: radioactive minerals, geopolitics, nuclear energy, treaties, nuclear powers.

¹ Mayor del Ejército Nacional de Colombia. Candidato a magister en estrategia y geopolítica, Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”, Colombia. Magister en Seguridad y Defensa, Universidad Nebrija, España. Profesional en Relaciones Internacionales y Estudios Políticos, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia. - Contacto: jmirandaz1@alumnos.nebrija.es o d6902897@unimilitar.edu.co.

Introducción

La energía nuclear es una forma de producción de energía que ha sido objeto de controversia debido a su potencial riesgo, sus posibles efectos en la salud y el deterioro al medio ambiente. En Colombia, la adopción de este tipo de energías ha sido objeto de discusión durante muchos años. Si bien existen regulaciones y tratados a nivel mundial y regional, el país aún sigue ausente en el uso y exploración de dicha alternativa energética, tanto así que se tiene potencial en minerales radioactivos como es el caso del Uranio y el Torio, pero el desconocimiento y la actual oferta por el aprovechamiento de la riqueza hídrica y combustibles fósiles, no ha permitido conocer más allá de la verdadera importancia de esta potencial energía.

A pesar de que Colombia es un país rico en recursos energéticos como el petróleo, el gas y la hidroelectricidad, algunos expertos han señalado la necesidad de diversificar las fuentes de energía para garantizar la seguridad energética a largo plazo. Por esta razón, la adopción de la energía nuclear ha sido propuesta como una alternativa viable.

El caso de Brasil es un ejemplo claro, el gigante sudamericano posee una de las más grandes riquezas hídricas del mundo, ya que tiene la selva amazónica y parte del río que lleva el mismo nombre atraviesa el país de occidente a oriente, lo que ha permitido construir presas y aprovechar este recurso para la construcción de hidroeléctricas; pero, simultáneamente desarrollan investigación y exploración de la energía nuclear, llevando a cabo importantes proyectos energéticos e incluso militares. La evolución en el continente americano del uso de la energía atómica ha sido un poco lenta, ya que solo tres países han impulsado de forma eficiente esta importante energía.

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

Conocer la influencia que puedan tener algunas superpotencias como es el caso de Estados Unidos, Rusia y China o el interés de tener una mejor proyección dentro de América latina, también en la actualidad, tenemos la presencia de potencias regionales como es el caso de Irán, que está buscando nuevos combustibles para seguir con su desarrollo nuclear y países del continente americano serian un objetivo claro gracias al potencial en combustibles para dicho fin, y Colombia no es una excepción. Sin embargo, la geopolítica ha tenido un papel importante en la discusión sobre la adopción de la energía nuclear en territorio colombiano. El país se encuentra en una región con una alta tensión geopolítica y una historia de conflictos armados internos. Además, Colombia ha sido un aliado cercano de los Estados Unidos, país que ha promovido la adopción de fuentes nucleares en el mundo. Esto ha llevado a que algunos críticos de la energía nuclear en el país argumenten que su adopción podría tener un impacto negativo en la seguridad regional y en las relaciones internacionales del país. Otros, argumentan que esta energía podría ser una herramienta para mejorar la seguridad energética del país y reducir su dependencia de los combustibles fósiles.

Colombia tiene un reto grande, ya que tarde o temprano es inevitable contemplar el uso o por lo menos la exploración de energías alternativas como la nuclear, la legislación nacional es limitada para implementar la energía nuclear, aún existe resistencia en sectores de la sociedad nacional, a pesar que algunos políticos hay propuesto leyes para regularla y empezar su investigación científica, hasta la fecha no ha sido posibles, lo anterior puede ser por falta de conocimiento, falta de interés nacional pero también por algunos intereses de sectores económicos que no quieren que esta energía sea implementada, el cual permitiría al país ser referente no solo en la región sino también a nivel mundial.

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

En resumen, la adopción de la energía nuclear en Colombia ha sido objeto de un intenso debate, en el que la geopolítica ha jugado un papel importante. La decisión de adoptar o no esta forma de producción de energía deberá tomar en cuenta una amplia variedad de factores, incluyendo la seguridad regional, los riesgos ambientales y la seguridad energética del país. De esta manera se plantea un estudio geopolítico y de seguridad que permite responder la siguiente pregunta: ¿Cómo influenciaría la adopción de la energía nuclear en Colombia y su relación con la geopolítica nacional?

Taxativamente, se plantearon los siguientes objetivos de investigación: 1. Marco regulatorio mundial, regional y nacional sobre energía nuclear; 2. Evolución de la energía nuclear mundial y latinoamericana; y 3. Panorama y condiciones actuales en Colombia para la adopción de la energía nuclear.

Metodología

En la presente investigación se plantea bajo un enfoque mixto; y su alcance es de alcance descriptivo. Se plantea un diseño cuantitativo experimental, de igual forma cualitativo de análisis de contenido de corte transversal. Las variables principales de estudio son descriptivo y exploratorio; y sus dimensiones de análisis serán describir el marco regulatorio mundial, describir el uso de la energía nuclear en América Latina y las condiciones actuales en Colombia. La población o universo del estudio y en consecuencia las unidades de análisis consisten en fuentes secundarias, conformadas por todos aquellos documentos, noticias, informes de agencias especializadas, o fuentes primarias, conformadas por personas a

entrevistar o encuestar, entre otros, que contengan información sobre las variables y dimensiones de estudio. Se desarrollará un muestreo por conveniencia hasta lograr saturación teórica. Como instrumento o mecanismo de recolección de información se utilizará un cuestionario para enfoques cuantitativos. Los datos recolectados se analizarán mediante análisis de contenido cualitativo y se recogen datos de textos o entrevistas transcritas.

1. Marco regulatorio mundial, regional y nacional sobre energía nuclear

1.1. Regulación mundial

La energía nuclear empieza a ser estudiada a mediados del siglo XX, a inicios de la Segunda Guerra mundial, para este periodo investigadores físicos europeos realizan las primeras pruebas para la utilización de dicha energía. Posterior a los lanzamientos de las bombas atómicas en Hiroshima y Nagasaki y con la finalización de la Guerra, la Organización de las Naciones Unidas por intermedio del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) creada con la conferencia sobre el estatuto del organismo anteriormente mencionado, celebrada en la Sede de las Naciones Unidas. Entró en vigor el 29 de julio de 1957, dicta resoluciones para la regulación del uso de la energía nuclear a nivel mundial. A continuación, se enumerará cada una de las funciones de la OIEA teniendo en cuenta su estatuto. (OIEA, 2023).

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

- Al fomentar y facilitar al mundo el desarrollo, investigación y la aplicación de la energía atómica con fines pacíficos. También actuar como intermediario cuando sea solicitado, para que un miembro de la OIEA preste servicios, suministre material, instalaciones o equipo a otro miembro.
- Establecer un control sobre la utilización de los materiales fisionables especiales que reciba el organismo, lo anterior con el fin de que los materiales sean solo para uso pacífico.
- Distribuirá los recursos de que disponga de modo que garantice su utilización eficaz y que permita obtener el mayor beneficio general posible en todas las regiones del mundo.
- El organismo presentará informes anualmente sobre las actividades desarrolladas a la Asamblea General de las Naciones Unidas al igual que al Consejo de Seguridad.
- Presentará informes al Consejo Económico y Social y a otros órganos de las Naciones Unidas sobre aquellos asuntos que sean de la competencia de estos órganos.

No solo los organismos internacionales o la ONU tienen regulaciones, es de recordar que en la actualidad existen bloques de países con acuerdos, al igual que tratados binacionales o regionales para la regulación de la energía nuclear y su utilización para fines pacíficos y la no proliferación de armas de destrucción masiva. Uno de los grandes temores de la humanidad y de promotores de la paz mundial, es que se desate una guerra nuclear, que sin duda llevara a la destrucción de la misma humanidad. No es un secreto que la potencia hegemónica que es Estados Unidos ha desarrollado armas nucleares, al igual que super potencias como es el caso de China y Rusia, si bien estas capacidades son consideradas como

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

disuasivas, no se descarta el uso de estas para un ataque preventivo o un contraataque el cual sería devastador. Sin embargo, eso no lo es todo, durante los últimos cuarenta años países considerados potencias medias y regionales han llevado a cabo una carrera armamentista con el desarrollo desafortunado de armas nucleares, como son el caso de Irán, Israel, Corea del Norte, Francia, India y Pakistán, y algo preocupante, es que más países siguen uniéndose o considerando a futuro, el desarrollo de dicha energía para fines no pacíficos, amenazando así la paz mundial.

De acuerdo con lo anterior, y dada la preocupación de algunos gobiernos de países potencias y con el fin de avivar la cooperación del uso pacífico de la energía nuclear y lograr el desarme de armas de destrucción masiva, nace el tratado de No proliferación de armas Nucleares (TNP). El TNP se firma en el año de 1968, pero entra en vigor el 5 de marzo de 1970, posteriormente en el año de 1995 el tratado entra en prórroga indefinida, donde hacen parte o están adscritos más 191 países.

En el marco del TNP, los Estados no poseedores de armas nucleares que son Partes en el Tratado se han comprometido a no fabricar o adquirir de otra manera armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos, mientras que los Estados poseedores de armas nucleares que son Partes en el Tratado se han comprometido a no ayudar, alentar o inducir en forma alguna a ningún Estado no poseedor de armas nucleares que sea Parte en el Tratado a fabricar o adquirir de otra manera armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos. (OIEA, 2023)

A pesar de que la TNP es clara con los países firmantes, en la actualidad ha sido muy difícil que cada país cumpla lo acordado o por lo menos revise la participación a terceros con relación al desarrollo de armas nucleares, mas, cuando países potencias quieren un cambio o

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

una reconfiguración del sistema internacional y del orden mundial, mostrando las armas nucleares como medio de persuasión para tales propósitos.

Como se afirmó anteriormente, también existen tratados o acuerdos bilaterales entre países para garantizar el fin pacífico del uso nuclear, como es el caso del acuerdo de cooperación entre Estados Unidos e Irán, acuerdo que fue firmado en marzo del año de 1957, con el fin de que el país persa desarrolle energía atómica para uso civil, dicho programa fue llamado “Átomos para la Paz” pero este programa tenía intereses estratégicos por parte de los estadounidenses en contra de la entonces Unión Soviética. “Átomos para la Paz serviría para solidificar la lealtad de Irán a Occidente”, señaló Jonah Glick-Unterman en un análisis publicado en 2018 por el Wilson Center, un centro de estudios con sede en Washington” (Bermúdez, 2021). Sin embargo, con la llegada del régimen de los Ayatolas en 1979 en Irán, el acuerdo nuclear es incumplido, e Irán comenzó una carrera para el desarrollo de armas nucleares y empieza a enriquecer uranio, lo cual lo convierte en una seria amenaza no solo para Occidente sino también para Israel.

A pesar de los esfuerzos realizados en el siglo XX para que la energía nuclear sea usada con fines pacíficos, algunos gobiernos se han empeñado para usarla como medios no pacíficos y así poner en riesgo a la tranquilidad de la humanidad. Para el año 2010 nace el tratado de la era contemporánea más ambicioso para el control de armas nucleares entre las actuales dos potencias (Estados Unidos y Rusia) con gran capacidad de armas estratégicas disuasivas, cuyo tratado fue nombrado START (Tratado de Reducción de Armas Estratégicas), “pone límites al total de armas nucleares desplegadas y habilita inspecciones de verificación en las instalaciones de cada país, haya durado casi un año en esta situación es

evidencia de su enorme importancia para la seguridad internacional” (Padinger, 2023), no obstante las actuales tensiones entre Occidente y Rusia, sumado a la guerra de Ucrania, está en riesgo el uso de armas nucleares tácticas y empiece una escalada global que comprometa a más países.

1.2. Regulación en América Latina

Si bien, América latina no ha sido potencia en el uso de la energía nuclear, como lo es Europa, Asia y Norteamérica, debido a múltiples factores, como por ejemplo la gran riqueza hídrica lo cual ha permitido aprovechar este recurso para construir hidroeléctricas o por ejemplo el uso de otras alternativas como es el caso de los biocombustibles; teniendo en cuenta lo anterior los países latinoamericanos no se han quedado atrás con respecto a regulaciones regionales en el tema del uso de la energía nuclear. No se puede dejar de mencionar la creación de la Comisión Interamericana de Energía Nuclear, que empezó a regir a partir del año de 1959, tal comisión dependía de la Organización de Estados Americanos (OEA). Sin embargo, la CIEN dejó de funcionar y se disuelve en 1988, por varios motivos. El primero, fue la situación financiera, que no permitió la financiación de la comisión, la segunda, es que las actividades de esta entidad no estaban incluidas dentro del presupuesto de los países que la integraban, lo que acrecentó la eliminación del organismo de regulación regional.

Posteriormente a la creación de la CIEN y paralelamente, en febrero de 1967 nace el Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en América Latina y el Caribe o también conocido como el Tratado de Tlatelolco que consistía en prohibir la adquisición, desarrollo,

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

ensayo de Armas Nucleares en América Latina y el Caribe, pero que a la vez, “ninguna de las disposiciones contenidas en el presente tratado menoscaba los derechos de las partes contratantes para usar, en conformidad con este instrumento, la energía nuclear con fines pacíficos, de modo particular en su desarrollo económico y progreso social” (Gros, 2022, pag.98).

Al igual que en el ámbito mundial, la región Latinoamericana, también ha logrado suscribir tratados bilaterales, parecidos al tratado START, integrados por Estados Unidos y Rusia. Un fiel ejemplo es la cooperación Sur-Sur entre Brasil y Argentina (principales usuarios de la energía nuclear en América Latina), donde por intermedio del llamado acuerdo de Guadalajara en el año de 1991, ambos países renuncian a realizar experimentos nucleares con fines no pacíficos. “Este Acuerdo derivó en la creación de la Agencia brasileño-argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares (ABACC) acuerdo sui generis en el ámbito de las salvaguardias nucleares y la primera institución bilateral creada por Argentina y Brasil” (Guzmán, 2021, pag.65).

La cooperación argentino-brasileña para el año 2005, firma una declaración sobre política nuclear para el desarrollo pacífico de esta con relación a reactores y combustibles (uranio, plutonio). Pero lo más notorio empieza en el año 2013, tanto Brasil como Argentina acuerdan la construcción de un reactor conjunto, sus nombres fueron el reactor RA-10 y el reactor multipropósito brasileño (RMB), lo cual estrechó más las relaciones entre los dos países, emitiendo así un mensaje de seguridad en el uso pacífico de la energía nuclear en el continente, aboliendo mitos sobre esta energía limpia.

1.3. Regulación colombiana

Si nos remitimos a la legislación colombiana con respecto a la energía nuclear es casi nula, en pocas palabras no existe una regulación, ni siquiera existe una proyección y visión de implementar el uso de la energía nuclear, la Constitución Política de Colombia (CPC), en el capítulo 3 artículo 81 afirma lo siguiente:

Artículo 81. Queda prohibida la fabricación, importación, posesión y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, así como la introducción al territorio nacional de residuos nucleares y desechos tóxicos. El Estado regulará el ingreso al país y la salida de él de los recursos genéticos, y su utilización, de acuerdo con el interés nacional. (CPC, 1991)

Por otro lado, el artículo 1 de la ley 1715 de 2014 menciona que; “Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional” (ley 1715 de 2014). Lo anterior concluye que tanto la Constitución Política de Colombia como la ley 175, solo mencionan la regulación de energías renovables y prohibición de desechos o nucleares en el país, mas no argumenta unas políticas claras sobre el uso de la energía nuclear para el desarrollo del Estado. Sin embargo, el congresista Edgar Enrique Palacio Mizrahi radico un proyecto de ley el 27 de septiembre del año 2021, donde pide incluir el capítulo XI que consiste en el desarrollo de la energía atómica y nuclear en Colombia dentro de la ley 1715 de 2014, para dicha modificación se citará todo el capítulo XI:

CAPÍTULO XI: DEL DESARROLLO DE LA ENERGÍA ATÓMICA O NUCLEAR

Artículo 46. El Gobierno Nacional a través del Ministerio de Minas y Energía directamente o a través de la entidad que designe para este fin, reglamentará las condiciones de participación de energía atómica o nuclear como fuente de generación estableciendo la

reglamentación técnica y de calidad a cumplir por las instalaciones que utilice para su producción y distribución; así como los requisitos de conexión, mecanismos de entrega de excedentes, y normas de seguridad que deben poseer, instalar y poner en marcha las instalaciones.

Artículo 47. El Gobierno Nacional, por intermedio del Ministerio de Ambiente, y Desarrollo Sostenible determinará los parámetros ambientales que deben cumplir los proyectos desarrollados con energía atómica o nuclear, así como la mitigación de los impactos ambientales que puedan ocasionarse en su implementación.

Artículo 48. Evaluación del potencial de yacimientos de uranio o cualquier otro elemento radioactivo que sea susceptible para su transformación y generación de energía atómica o nuclear. El gobierno nacional pondrá en marcha de manera inmediata, instrumentos para fomentar la exploración, detección e inventario de material radioactivo susceptible de ser combustible para la producción de energía nuclear o atómica, conocer la ubicación precisa de estos yacimientos, lo mismo que la capacidad de material que en ellos se encuentra, buscando un aprovechamiento propio y de beneficio para todos los Colombianos.

Artículo 49. Formación y capacitación de capital humano. El Gobierno Nacional fomentará la formación y capacitación de capital humano calificado para el desarrollo e implementación de proyectos de obtención de energía eléctrica a partir de la energía atómica o nuclear

Artículo 50. COOPERACIÓN INTERNACIONAL EN MATERIA DE FNCE Y EN ESPECÍFICO ENERGÍA ATÓMICA O NUCLEAR. En la puesta en marcha acciones de cooperación internacional, de cooperación internacional en materia producción de energía eléctrica a partir de la energía atómica o nuclear.

De acuerdo con lo anterior el Estado colombiano está intentando avanzar e incursionar en el uso de la energía nuclear, para esto se necesita más decisión política para lograr el objetivo. No solo depende de los políticos, empezar a concientizar a la sociedad de la importancia del uso de energía nuclear como una energía limpia y accesible, hace parte de una estrategia de una transición responsable, algo importante es la preparación de futuros

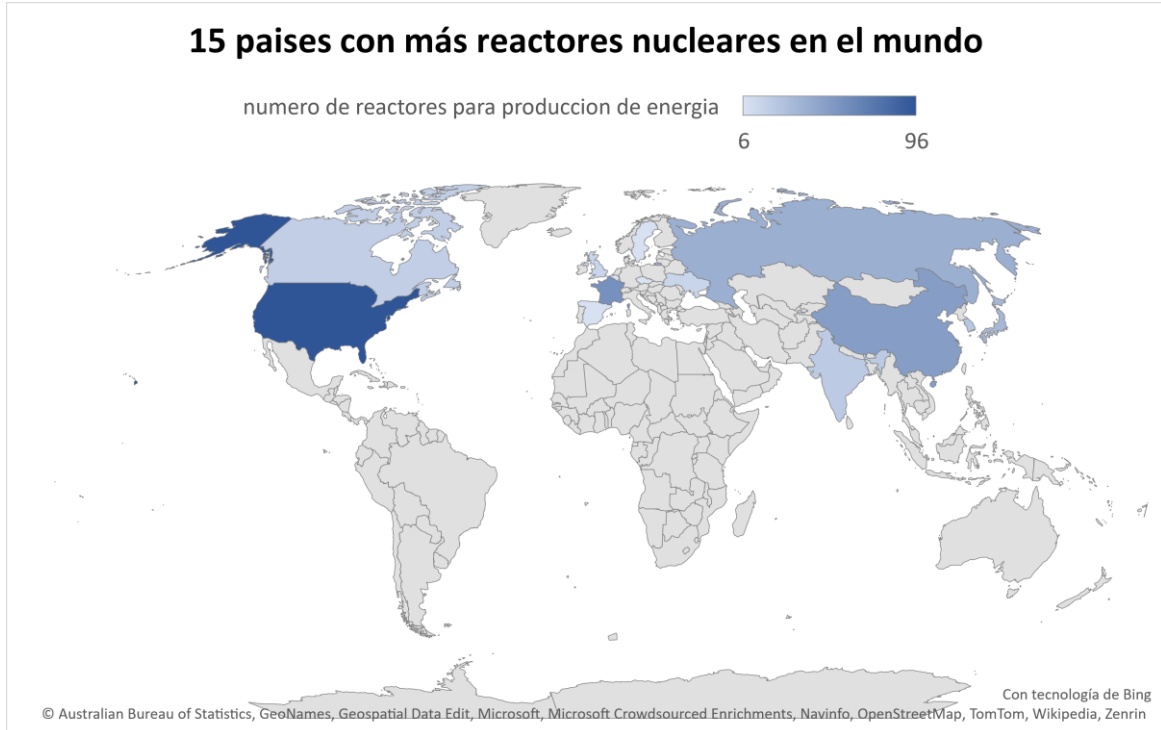
expertos en el tema tanto en el desarrollo como en el tema de la explotación de las tierras raras y la energía nuclear.

2. Evolución de la energía nuclear mundial y latinoamericana

Si se analiza a los países que tienen energía nuclear, hay dos aspectos definidos. El primer aspecto es que la mayoría o en su totalidad son países que son potencia hegemónica como es el caso de Estados Unidos, también super potencias como son Rusia y China y potencias medias y regionales como es Irán, Israel, India, Reino Unido, Alemania entre otros. El segundo aspecto es que los anteriores países no son ricos en recursos hídricos y forestales, ya que en el caso de los países latinoamericanos y en especial aquellos que se encuentran próximos a la línea del Ecuador son potencias hídricas, el cual les permite desarrollar hidroeléctricas y otros tipos de energía como es la bioenergía.

Existen países que han adoptado la energía nuclear a nivel mundial, desafortunadamente son pocos los que la han empleado para fines pacíficos, un ejemplo es que, de los países anteriormente mencionados, solo Alemania no ha desarrollado armamento nuclear, el resto tiene programas nucleares con fines no pacíficos, proliferando así las armas de destrucción masiva.

Figura 1: Clasificación de países con más reactores nucleares en el mundo



Fuente: Elaboración propia, con base a información recolectada por Govind Bhutada (World economic fórum) <https://www.weforum.org>.

En la anterior grafica se puede analizar dos factores interesantes. Si bien se muestran los 15 países con más reactores nucleares con producción de energía en el mundo, Francia ocupa el segundo lugar con 58 reactores activos, a la vez no tiene un potencial de armas atómicas como si lo tiene India, de igual forma Rusia, que con apenas 39 reactores nucleares ha evolucionado crecientemente de manera armamentista en comparación a otros países. Otro factor son los casos como Irán, Corea del Norte, Israel o el mismo Pakistán que no están en la lista de los primeros 15 países. Sin embargo, han desarrollado programas nucleares más avanzados que Suecia y España juntos; el análisis es la diferencia en el uso, mientras unos lo hacen para fines pacíficos y energéticos los otros incrementan su arsenal armamentístico nuclear.

2.1. Evolución energía nuclear mundial

En el ámbito mundial, se va a tomar la evolución de 4 países que son; Estados Unidos, Rusia, China e Irán. Este último se toma de referencia por la importancia e influencia que ha tenido en los últimos años en la región, dejado atrás otras potencias como India y Francia.

Los Estados Unidos es el país que más ha desarrollado la energía nuclear y el cual tiene mayor reactores con un total de 96 en la actualidad. La energía nuclear y atómica ha tenido una larga y compleja evolución en el país norteamericano. En Los Estados Unidos comenzó en la década de 1940, cuando el gobierno de Estados Unidos inició el Proyecto “Manhattan” para desarrollar armas nucleares durante la Segunda Guerra Mundial, donde fueron usadas por primera vez sobre las ciudades japonesas de Hiroshima y Nagasaki, donde se comprobó su verdadero poder de destrucción. Posterior a la guerra, en la década de 1950, se construyeron las primeras plantas nucleares comerciales en Estados Unidos y la energía nuclear se convirtió en una fuente importante de energía en ese país.

Sin embargo, en la década de 1970, el desastre de Three Mile Island, en Pensilvania, llevó a un aumento en la preocupación pública sobre la seguridad nuclear, lo que llevó a una desaceleración en la construcción de nuevas plantas nucleares y al aumento de las regulaciones de seguridad. En las décadas de 1980 y 1990, la atención se centró en la gestión de residuos nucleares y el desmantelamiento de plantas nucleares envejecidas.

las malas experiencias con la construcción de centrales nucleares en EE.UU. en los años 80 y 90 significaban que las empresas eléctricas serían reacias en hacer pedidos de centrales nucleares hasta que se demostrara plenamente que los diseños y procedimientos nuevos resolvían las cuestiones que habían causado los problemas. (Thomas, 2010, pag.40)

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

En los últimos años, la energía nuclear ha experimentado un renacimiento en Estados Unidos, con planes para construir nuevos reactores y expandir la capacidad existente. Los avances en la tecnología han mejorado la eficiencia y seguridad de los reactores nucleares, y se ha visto cada vez más la energía nuclear como una forma de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. El anterior avance se vio reflejado en el gobierno del expresidente George W. Bush en el año de 2002, con el programa nuclear power 2010, que consistía en resucitar los pedidos de reactores retrasados en años anteriores. Actualmente por las tensiones entre las potencias por la misma multilateralidad que existe, se ha acelerado el desarrollo de la energía nucleares para fines no pacíficos, incrementando así el arsenal su nuclear. El gobierno de estadounidense también ha firmado tratados internacionales para reducir la proliferación nuclear y promover el desarme, como es el caso de tratado STAR el cual consistió en un acuerdo con Rusia para el desmonte paulatino del arsenal nuclear de las naciones comprometidas.

Rusia, es un heredero del poderío militar nuclear desarrollado por la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) posterior a la Segunda Guerra Mundial y durante la guerra fría. La energía atómica ha tenido una larga y significativa evolución para los rusos. Durante la era soviética, se desarrolló tanto para la producción de energía eléctrica como para fines militares, entrando así en una nueva era armamentista y bajo el nuevo concepto de disuasión.

El primer reactor nuclear en Rusia entró en funcionamiento en la década de 1960, para la época se construyeron muchas plantas nucleares en todo el país para satisfacer la creciente demanda de energía, también se convirtió en uno de los líderes mundiales en

tecnología nuclear y siguió invirtiendo en la construcción de plantas nucleares y en el desarrollo de tecnología nuclear, lo anterior por la creciente demanda del gigante país y suplir las necesidades de su población.

Después de la caída de la Unión Soviética en 1991, la industria nuclear rusa enfrentó muchos desafíos, uno de ellos fue la misma inestabilidad política que cursaba el país, el cual dio como consecuencia la desintegración de la URSS y nacimiento de nuevas republicas con fines geopolíticos diferentes colocando en riesgo no solamente la paz de Europa, también la paz a nivel mundial, ya que no se tenía un control absoluto del desarrollo nuclear. Hubo una reducción significativa en la financiación y la falta de inversión en tecnología y seguridad llevó a varios accidentes nucleares y problemas de seguridad.

En las últimas décadas, el gobierno ruso ha renovado su compromiso con la energía nuclear y ha invertido en la modernización de la infraestructura y en el desarrollo de nuevas tecnologías. Rusia es actualmente el tercer productor de energía nuclear del mundo después de Estados Unidos y Francia, y cuenta con más de 30 reactores nucleares en funcionamiento paradójicamente menos que Francia y China.

En Rusia es difícil obtener información confiable del estatus de la construcción de centrales nucleares, y éstas tal vez no estén bajo construcción actualmente. Hay dudas especialmente en el caso de la central Kursk 5, que usa la misma tecnología que la central de Chernóbil, pues provocaría mucha controversia en caso de ponerse en funcionamiento. (Böll, 2010, pag.10)

En la actualidad, Rusia está desarrollado un programa ambicioso para la construcción de nuevas plantas nucleares, incluyendo la construcción de plantas nucleares flotantes y la

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

inversión en tecnología avanzada de reactores nucleares, lo anterior quiere decir que está utilizando grandes buques y embarcaciones en el mar como plantas nucleares móviles.

China, en los últimos años es el país que ha crecido y evolucionado a un ritmo acelerado en comparación a otros países con respecto a la energía nuclear. El país asiático no solo está invirtiendo en infraestructura y en megaproyectos estratégicos nacionales e internacionales, también lo está haciendo en el desarrollo de energía nuclear como estrategia energética y reducir así su dependencia a combustibles fósiles, es de recordar que China es el país que más consume estos combustibles como el diesel, gas y gasolina a nivel global.

China está desarrollando una nueva generación de reactores nucleares de alta temperatura y de sal fundida, estos reactores tienen como prioridad mejorar la seguridad y la eficiencia. También está desarrollando un nuevo combustible además del uranio y plutonio como combustible, se trata del torio y Colombia juega un papel importante en este tema, ya que posee cantidad de este material en el subsuelo en algunas regiones del país. China ha estado buscando oportunidades para exportar su tecnología nuclear a otros países. Han firmado acuerdos de cooperación nuclear con varias naciones y están construyendo reactores nucleares en el extranjero, como en Pakistán y Argentina.

Para los chinos es importante abordar el tema del cambio climático, China al igual que Estados Unidos, son los países que más emiten gases de efecto invernadero por las industrias y fabricas que posee, ubicándolo en un país altamente contaminante. Por ende, China apuesta a la construcción de más plantas nucleares el cual traerá la disminución de la producción de dichos gases.

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

Se considero a Irán como protagonista dentro de países con importancia evolutiva en la energía nuclear, dejando a un lado a potencias como es el caso de Francia y Reino Unido, por la misma influencia que tiene en la actualidad el país persa sobre América Latina, el cual se analizara más adelante.

Irán empieza a desarrollar su programa nuclear para la década de 1950 con la ayuda de Los Estados Unidos. Sin embargo, con la llegada de la Revolución Islámica con los Ayatolas en el poder en el año de 1979, el programa nuclear sufrió retrasos en su desarrollo y cambios debido a las tenciones diplomáticas con Occidente y las sanciones internacionales.

El país persa, ha estado desarrollando su infraestructura nuclear, incluidas instalaciones de enriquecimiento de uranio, reactores de investigación y reactores de agua pesada. La República Islámica ha afirmado que su programa nuclear tiene fines pacíficos, como es el caso de la generación de energía y la investigación médica.

El programa nuclear iraní ha sido objeto de preocupación e intensos debates a nivel internacional y regional. Varias naciones incluidas las principales potencias occidentales, han expresado la preocupación de que Irán está en desarrollo de capacidades militares a través del enriquecimiento del uranio, como por ejemplo misiles de mediano alcance de poder destructivo, a pesar de los pronunciamientos de que su programa es completamente para fines pacíficos.

aunado con las reservas de gas y petróleo en su poder, la energía nuclear le permitirán seguir siendo un país con renta incluso en la época en la que el petróleo se termine. Esto le servirá a Irán como un elemento de estabilidad para jugar su papel de potencia regional en Oriente Medio sin preocupaciones energéticas y financieras a sabiendas que, en cualquier conflicto armado o tensión en la región, el control del ciclo nuclear puede servir como un escudo de agresión. (Garduño, 2011, pag.73)

La Agencia Internacional de Energía Atómica ha llevado a cabo inspecciones en las instalaciones nucleares de Irán, para revisar el cumplimiento con los acuerdos internacionales y garantizar que su programa se utilice con fines pacíficos. En el año de 2015 se crea un acuerdo entre Irán y las principales potencias, conocido como el Plan de Acción Integral Conjunto, el cual tenía como objetivo limitar el programa nuclear iraní a cambio del levantamiento de las sanciones internacionales, entre ellas el económico. Sin embargo, para el año de 2018, Estados Unidos se retira del Plan de Acción Integral Conjunto y con ello regresando las sanciones a Irán, en consecuencia, a lo anterior Irán aceleró sus actividades nucleares.

2.2. Evolución energía nuclear América Latina

América Latina en comparación a otros continentes como Europa y Asia, ha tenido un desarrollo más lento, casi que inexistente. Solo tres países han tenido una evolución significativa como lo es Brasil, México y Argentina, logrando transformar la energía nuclear en un verdadero activo estratégico para estas naciones. Los actuales planes para la expansión nuclear son ambiciosos. “Argentina y Brasil estarían buscando duplicar o triplicar su capacidad nuclear existente. México puede llegar a construir hasta 8 reactores más para el 2025. Chile, Venezuela y Uruguay se ven con el mismo entusiasmo respecto a la energía nuclear” (Squassoni, 2009, pag. 1).

Brasil empezó su desarrollo en la energía nuclear con la creación con la *Comisión Nacional de Energía Nuclear* en los años 60's, el cual tenía la responsabilidad de desarrollar

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

y regular esta capacidad energética en el país. La primera central nuclear construida, se da hacia los años ochenta, el cual buscaba una mejor generación de energía, teniendo en cuenta la extensión territorial dentro del continente. Para los años noventa, Brasil continuo con la expansión de reactores nucleares. Sin embargo, al igual que muchos países en Latinoamérica y en el mundo, suspenden sus programas nucleares debido al incidente en Chernóbil, pero a finales de la misma década reanuda su programa de energía nuclear.

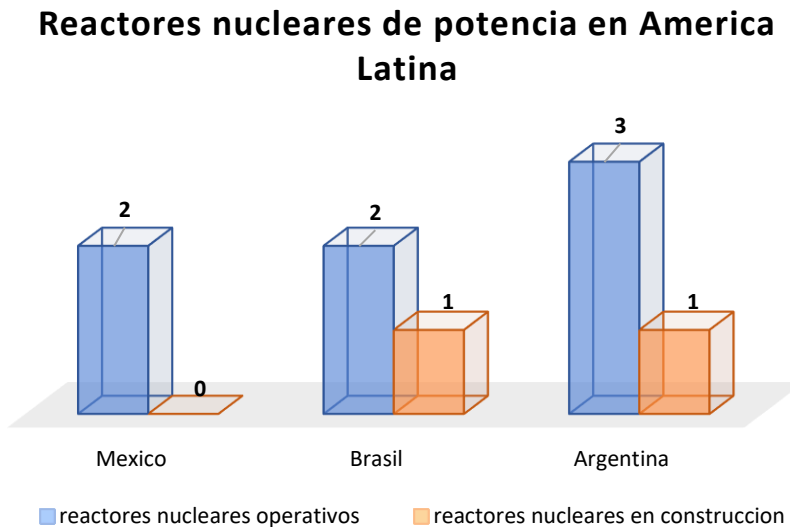
En 2006, Brasil anunció un ambicioso plan de expansión nuclear que incluía la construcción de hasta ocho reactores nucleares adicionales para el año 2030. El objetivo era aumentar la participación de la energía nuclear en la matriz energética del país.

Argentina puede considerarse como el país pionero en empezar el desarrollo en la energía nuclear en América latina. Inicia en el año de 1950 con el impulso del desarrollo de la energía nuclear para fines pacíficos, con la construcción del primer reactor en América Latina bautizado con el nombre de RA-1. “Argentina no solo tiene usinas nucleoelectricas, sino que ha desarrollado tecnología de fabricación de reactores nucleares de investigación y experimentación. Entre sus clientes figuran Argelia, Australia, Egipto y Perú” (Honty, 2011, pag.34). La expansión de su programa nuclear ha sido de gran importancia hasta nuestros días, la responsabilidad del Estado argentino ha sido de gran importancia, ya que hasta la fecha no ha utilizado su programa para actividades armamentistas.

México es otro de los países exponentes en el desarrollo nuclear en América Latina, el empezó muy temprano en adoptar esta tecnología energética con fines pacíficos. México ha buscado la cooperación internacional en el ámbito nuclear y ha participado en diversos tratados y acuerdos relacionados con la no proliferación nuclear y la seguridad radiológica.

Además, ha firmado acuerdos de colaboración con otros países y organizaciones para el intercambio de conocimientos y tecnología nuclear.

Figura 2: Reactores nucleares de potencia en América Latina



Fuente: Elaboración propia, información recolectada de DW, [¿Qué hace América Latina con su basura nuclear? – DW – 30/09/2020](#)

2.2.1. Usos en América Latina

Los países que tienen programas nucleares en América Latina han implementado la energía nuclear en usos que van en pro de la sociedad. Sin embargo, existen países como Brasil que empezaron a incursionar en el ámbito militar utilizando dicha energía.

América Latina ha establecido centros de medicina nuclear equipados con tecnología avanzada, para el diagnóstico temprano y preciso de diversas enfermedades, como es el cáncer y otros síndromes. En el caso de Argentina, es el primer país que ha desarrollado un reactor nuclear como es el RA-3 que se utiliza para investigaciones científicas y médicas. Los hospitales y centros de oncología han implementado unidades de radioterapia que

utilizan fuentes de radiación nuclear, esto permite la destrucción de las células cancerosas, minimizando el daño a los tejidos sanos.

La energía nuclear también ha contribuido a la investigación médica en América Latina. Los centros de investigación nuclear en la región proporcionan instalaciones y equipos avanzados para llevar a cabo investigaciones en áreas como la genética, la radiobiología y la farmacología. Estas investigaciones ayudan a comprender mejor las enfermedades y a desarrollar nuevos tratamientos y terapias más efectivas.

América Latina se ha caracterizado por mantener la paz en la región entre los Estados y respetar los acuerdos internacionales referente a la no proliferación de armas nucleares y de destrucción masiva. Brasil incursiono en el ámbito militar construyendo su primer submarino nuclear, es de aclarar que el programa nuclear no está enfocado en la construcción de misiles o armas de destrucción, solo se está utilizando un reactor de propulsión, que permite una mejor autonomía en los submarino que los motores diesel, que técnicamente brinda una mejor capacidad y que los submarinos sean más silenciosos dentro de las operaciones navales.

El desarrollo de un submarino nuclear como herramienta más para proyectar poder, prestigio y liderazgo en materia de seguridad y defensa sin representar un amenaza proliferante. De este modo, se concilian los intereses de ambos ministerios sin perjuicio de la imagen brasilera frente a la comunidad internacional. (Cerrano, 2015, pag.74)

2.2.2. Influencia de potencias nucleares externas en América Latina

La influencia que existe por parte de potencias o países con un desarrollo nuclear más avanzado que los que actualmente están desarrollando algunos países en América Latina, es

constante. El país que más tiene influencia e intereses en América Latina es Irán. Los países que han tenido relación estrecha con los persas son Venezuela, Bolivia, Nicaragua y Cuba, este último país, es con quien mejor tiene relaciones diplomáticas después de la revolución islámica.

Los intereses iraníes en la región se pueden definir en tres aspectos. El primero es hacer pequeños bloques de cooperación y tener presencia en países que no estén bajo las políticas regionales de Los Estados Unidos. Un segundo aspecto, es ayudar a los países Latinoamericanos anteriormente mencionados a desarrollar un programa nuclear. Como es el caso que está pasando con Venezuela, si bien no se tiene pruebas suficientes sobre un posible desarrollo nuclear en el vecino país, si se toma como referencia la cooperación que se tuvo con Ecuador y Brasil.

Por último, es que Irán se encuentra en búsqueda de explotación de nuevos combustibles como es el Uranio y el Plutonio, para continuar con su carrera nuclear, es de recordar que el Uranio es un mineral limitado y que cada día es más escaso demostrando, que Latinoamérica puede convertirse en un destino provechoso para Irán con respecto a la explotación de combustibles nucleares.

Especulando con las razones del interés iraní en Bolivia, algunas fuentes diplomáticas han apuntado a los yacimientos de materiales radiactivos. El diario La Prensa afirmó que los acuerdos bilaterales pueden incluir la explotación de litio y uranio en Potosí, pero el Ministerio de Minería lo ha negado. (Malamud & García, 2007, pag.4)

3. Panorama y condiciones actuales en Colombia para la adopción de la energía nuclear

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

Los inicios de la investigación nuclear en Colombia empiezan con la creación del Instituto de Asuntos Nucleares en la década de los 60's. Para el año de 1965, en el gobierno de Guillermo León Valencia, se puso en funcionamiento el reactor nuclear de investigación IAN-R1, este reactor fue una donación del gobierno de los Estados Unidos del programa mundial llamado “átomos para la paz”, el cual también beneficio a programas nucleares en América Latina e Irán. “En Colombia cuando empieza esta incursión de investigación nuclear estaba a cargo del ministerio de Minas y el ministerio de Guerra; para entonces el interés de los militares en asuntos de desarrollo del Estado era evidente” (Sandoval, 2023).

Al tiempo que empieza el funcionamiento de este reactor, se especula en los medios de comunicación nacionales y dentro de algunos sectores de la sociedad, que los fines de esta investigación era para la construcción de armas nucleares, teniendo en cuenta el auge de la Guerra Fría para entonces. En el año de 1997 en el gobierno de turno (Ernesto Samper) se toma la decisión de cerrar el instituto y se frena las investigaciones, irónicamente Colombia venía de una época de apagones y cambios de horarios como déficit en la energía eléctrica nacional, con lo anterior se pierde la oportunidad de impulsar el desarrollo de energía nuclear en el país.

En 2010, el Gobierno colombiano estableció la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEA) para promover el uso de la energía nuclear con fines pacíficos y desarrollar la infraestructura necesaria, también ha estado trabajando en la elaboración de un programa de nuclear en Colombia, que incluye la evaluación de la viabilidad técnica, económica y social de la energía nuclear, así como el fortalecimiento de la capacidad institucional y el

marco regulatorio, este último no ha sido posible, por la misma ausencia de interés estatal y gubernamental que existe.

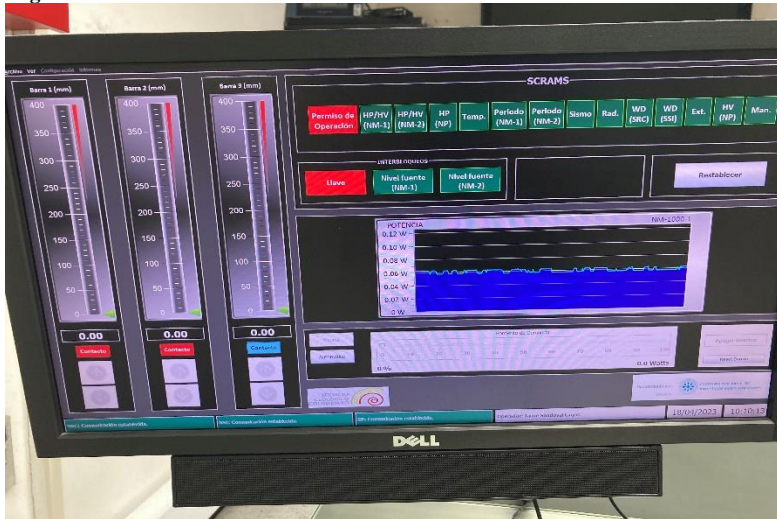
En la actualidad el país solo cuenta con el reactor IAN-R1, mencionado anteriormente para propósitos de investigación. A continuación, se mostrará imágenes tomadas en trabajo de campo sobre el funcionamiento del reactor.

Figura 3: fotografía reactor nuclear colombiano de investigación IAN-R1



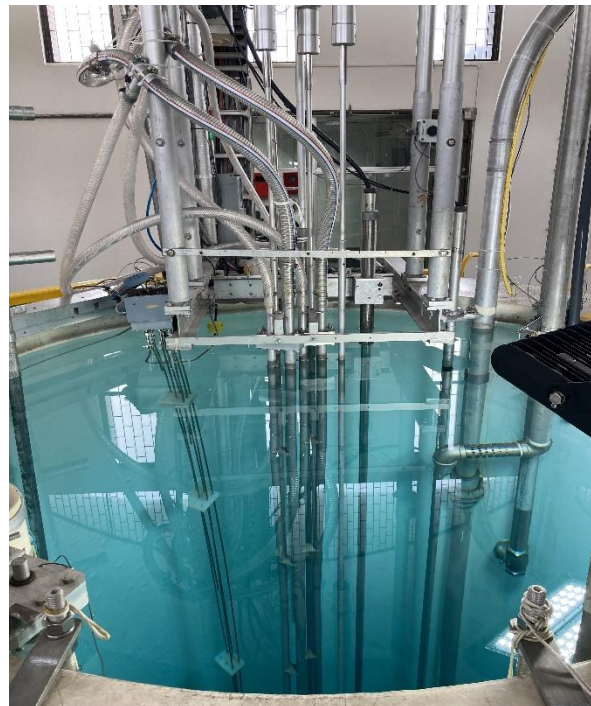
Fuente: Elaboración propia, fotografía tomada el 18 de abril 2023 en visita a instalaciones SGC, autorizadas por la misma entidad

Figura 4: Sistema de controles reactor IAN-R1



Fuente: Elaboración propia, fotografía tomada el 18 de abril 2023 en visita al reactor del SGC, en visita autorizada por la misma entidad

Figura 5: Piscina control temperatura con agua reactor IAN-R1



Fuente: Elaboración propia, fotografía tomada el 18 abril 2023, en visita al SGC autorizada por la misma entidad

3.1. ¿Tiene futuro la energía nuclear en Colombia?

Más que hablar de futuro de la energía nuclear en Colombia como tal, hay que hablar de los verdaderos retos que se tienen para empezar un desarrollo óptimo de esta energía. Si bien se habla de alternativas verdes, de energía limpias y transición energética, el tema o la pregunta es, ¿cuál es la energía que debe adoptar Colombia en un futuro cercano?

Hay varias alternativas, unas con mejor opción de transición que las otras, pero que tienen igual o mayor complejidad que las emitidas por combustibles fósiles, y que al final la energía nuclear es la que tiene mejores ventajas. La primera es la bioenergía y el biodiesel, esta energía se ve como una alternativa viable para sustituir de forma paulatina a las energías derivadas del petróleo y combustibles fósiles, los cuales son los principales causantes del actual calentamiento global. Este biodiesel es extraído de productos vegetales y grasas animales que constituyen energía renovables. Sin embargo, nada es perfecto, ya que este combustible produce oxidación al motor de los vehículos por su alto efecto corrosivo.

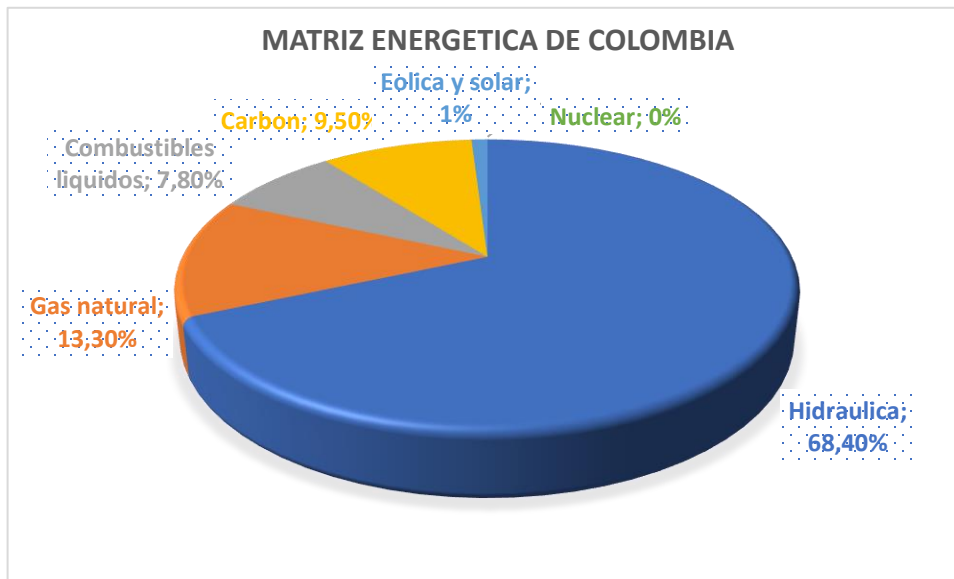
Otra forma óptima de energía en Colombia es la hídrica y es la que en la actualidad tiene mayor porcentaje en utilización por intermedio de la hidroeléctrica que los distintos gobiernos y el Estado han adoptado como principal recurso energético en el país. Si bien esta energía puede ser de gran ayuda o convertirse en la opción más adecuada para una transición energética, también es verdad que en un futuro puede dejar de existir. El cambio climático en la actualidad ha tenido consecuencias devastadoras para el ser humano y la misma naturaleza, una de ellas es el calentamiento global, y la aceleración que el mismo está ocasionando en la limitación y escasez del agua consumible en un futuro. “Un estudio realizado por la revista Nature Communications advierte que más de 250 ciudades en el mundo se quedarán sin agua en 2050” (Ramírez, 2021). De igual forma para construir una

hidroeléctrica en Colombia no solo basta con destruir cientos de hectáreas de bosques también desviar caudal de los ríos y alterando los ecosistemas.

El anterior estudio es muy claro, y significa que para dentro de dos a tres décadas el agua será una limitante para producir energía, esa línea de tiempo es la misma que se necesitaría para la construcción y funcionamiento una planta nuclear en el país si se empieza el programa desde ahora, por ende, Colombia debe evaluar con mucha atención si es viable seguir con la construcción de grandes presas a un elevado costo.

Las energías eólicas y solares pueden ser un reemplazo aceptable, pero, teniendo en cuenta la geografía del territorio nacional la energía eólica solo podría aplicarse para ciertas zonas, y la transición solar tendría costos más elevados en empleo y mantenimiento y a más tiempo para cobertura que la misma energía nuclear.

Figura 6: Matriz energética de Colombia



Fuente: Elaboración propia, información del Banco Interamericano de Desarrollo

La figura 6, muestra la capacidad energética que en la actualidad tiene demanda en Colombia, donde se evidencia una producción en mayoría de energía hídrica con un 68,40%,

seguidas de otras energías como es el gas natural, carbón, en menor producción la eólica y la nuclear de forma nula; lo que obliga al Estado colombiano a seguir explorando e investigando más sobre las otras energías, teniendo en cuenta las limitaciones acuíferas a futuro.

Ahora hay que hablar de la bondades y ventajas que nos puede traer la anergia nuclear si la adoptamos adecuadamente. Si se analiza la figura 6, la energía predominante en Colombia es la energía derivadas de las hidroeléctricas, mientras que la energía nuclear es prácticamente nula.

La energía nuclear podría proporcionar una fuente de energía basada en la fisión nuclear, lo que permitiría reducir la dependencia de los recursos naturales y las fluctuaciones en los precios de los combustibles. La energía nuclear también es una fuente de energía de baja emisión de carbono, lo que significa que su adopción podría contribuir a los esfuerzos de Colombia para mitigar el cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, esto podría ayudar al país a cumplir con los compromisos internacionales en materia de reducción de emisiones.

La adopción de energía nuclear conlleva a desafíos importantes en cuanto a la seguridad y la gestión de los residuos radiactivos. Para adoptar la energía nuclear de manera segura, Colombia tendría que invertir en infraestructuras y regulaciones sólidas, así como en programas de capacitación y desarrollo de capacidades para garantizar la seguridad de las instalaciones nucleares y la gestión adecuada de los desechos radiactivos.

La adopción de la energía nuclear requeriría una inversión significativa en infraestructura y tecnología, lo que podría tener implicaciones económicas importantes. Además, habría consideraciones sociales y políticas para tener en cuenta, ya que la energía nuclear a menudo genera debates y preocupaciones sobre la seguridad, la salud pública y los

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

posibles desastres nucleares. Estos aspectos deberían ser abordados de manera integral y transparente, involucrando a la sociedad civil y fomentando un debate informado.

La energía nuclear también podría impulsar la investigación científica y tecnológica en Colombia. La construcción de una planta nuclear requeriría conocimientos especializados y podría fomentar la colaboración entre instituciones educativas, centros de investigación y empresas nacionales e internacionales. Esto podría tener beneficios a largo plazo en términos de desarrollo tecnológico y formación de talento especializado.

Los gobiernos de los últimos treinta años en Colombia no han visto a la energía nuclear como alternativa energética, por el mismo desconocimiento y temor que existe sobre estos temas, sin darse cuenta de que se ha dejado de invertir en un desarrollo nuclear, que hubiera impulsado al país desde hace años y convertirlo en un jugador geopolítico importante en la región. Según datos de la IAEA, desde el momento que un Estado toma la decisión de construir una planta nuclear hasta la operación de esta, se toma aproximadamente veinte años, donde se deben aplicar tres principales fases. La primera, adoptar conocimiento especializado sobre el tema de la energía nuclear. La segunda, es empezar a buscar proveedores y concretar negociaciones. La última quizás la más importante, es que este incluida dentro de un plan de desarrollo como política de Estado.

Refiriéndonos a la primera y última fase, el actual gobierno del presidente Gustavo Petro dentro del Plan Nacional de Desarrollo (PND 2022-2026), incluyó la política de transición a energías limpias, desarrollo de la energía nuclear y posterior construcción de una planta. Remitiéndonos al PND donde lo indica el capítulo V en el artículo 225, “que habla sobre el fortalecimiento de la institucionalidad para el sector de ciencia, tecnología e investigación” (PND, 2023, pag.156). De la misma forma en los proyectos estratégicos de

impacto regional que están plasmados en el PND 2023 en el plan plurianual de inversiones, hay uno que llama la atención, “estudio de factibilidad para la construcción de un reactor nuclear de alta potencia en Colombia” (PND, 2023, pag.31). Lo importante de las dos anteriores posturas, es que ya se está empezando a evaluar la implementación del desarrollo de energía nuclear en Colombia, y esto es bastante positivo, mas, si se convierte en una política de Estado.

En este trabajo se realizaron 5 entrevistas a expertos colombianos del Servicio Geológico Colombiano en el tema de energía y física nucleares, donde se presentó el siguiente resultado y análisis:

Figura 7: Análisis resultado entrevistas a personal del reactor nuclear del SGC.

Entrevistados Entrevistas	respuesta pregunta 1	respuesta pregunta 2	respuesta pregunta 3	respuesta pregunta 4	respuesta pregunta 5
entrevista Nicolas Guarín	15%	25%	2%	18%	15%
entrevista Nayibe Buitrago	5%	7%	14%	26%	19%
entrevista Jaime Sandoval	22%	11%	60%	27%	20%
entrevista Andrés Amorochó	27%	31%	2%	11%	16%
entrevista Daniela Rodríguez	31%	26%	22%	18%	30%

Fuente: Elaboración propia. Información extraída de entrevistas de expertos SGC (anexo de entrevistas final del trabajo).

Los anteriores análisis de las entrevistas se realizaron por intermedio del software conocido como MAXQDA 2022, el cual permitió mostrar en porcentaje las respuestas más acertadas y las que se aproximan a una mejor toma de decisión en una prospectiva con el tema de la energía nuclear.

La respuesta de la pregunta número 3 contestada por el señor Jaime Sandoval, fue la más acertada con una calificación de 60%, entre las cinco entrevistas realizadas el cual

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

consistió en las recomendaciones que el Sistema Geológico Colombiano ha propuesto al Gobierno Nacional y/o al Congreso de la Republica para tener una legislación en el desarrollo de la energía nuclear; cuya respuesta fue:

“Todas las recomendaciones son técnico-científicas, nosotros somos un instituto de investigación adscrito al sistema nacional de ciencia y tecnología, en ese sentido nuestro apoyo siempre es técnico-científico ya que nuestro que hacer no va más allá, la parte de legislación pues se ha venido es apoyando y estamos dispuestos a apoyar al Congreso de la Republica de quienes realmente nos han visitado y estamos prestos a colaborar. Se les ha explicado desde el punto de vista nuestro todo lo que tenemos actualmente y ellos han estado muy impresionados por todo el soporte de la infraestructura técnico-científica que tenemos en el servicio geológico colombiano, por eso mismo están dispuestos a prestarnos todo el apoyo y todas las recomendaciones que le hacemos a ellos, corresponde al apoyo técnico-científico”. La anterior respuesta identifica la intención, pero a la vez el conocimiento de los decisores políticos de la necesidad de incursionar en el tema de la energía nuclear en el país, pero, que aún faltan muchas herramientas técnico-políticas para lograr un verdadero desarrollo. De igual forma, también se identificó que las respuestas estuvieron acertadas con mayor valor solo por dos personas, el cual se puede entender con la preparación en temas nucleares que tienen estas dos personas a diferencia del resto.

También muestra algo preocupante, que se necesita de más conocimiento académico en Colombia para preparar futuros ingenieros nucleares o personal muchas respuestas no estuvieron acorde, y se tuvo un poco de desconocimiento acerca de temas importantes sobre la importancia de adoptar la energía nuclear en Colombia.

3.2. El torio (Th), ¿futuro combustible nuclear en el mundo? Un desafío geopolítico nacional para Colombia

La economía en Colombia se ha basado en la explotación de sus recursos minerales, como es el caso del oro, la plata, el níquel, el carbón entre otros. Desafortunadamente el Estado ha desconocido la existencia de otros minerales que son potenciales combustibles nucleares y que el país posee, pero que no se le ha dado la importancia necesaria. En la actualidad Colombia tiene en su subsuelo dos minerales principales que pueden servir como combustibles nucleares que es el uranio y el torio, aunque este último no es considerado como un reactor potente, hay países como China que lo están potencializando como futuro reemplazo del uranio y del plutonio.

El torio es un mineral que tiene unas características esenciales que sería una óptima solución a la escasez de uranio y también contribuiría de forma significativa a la paz mundial. Es radiactivo, lo que significa que emite radiación a medida que se descompone, debido a su radiactividad, se ha estudiado en aplicaciones relacionadas con la energía nuclear. De la misma forma, aunque no se utiliza tanto como el uranio en la producción de energía nuclear, el torio es un posible combustible para reactores nucleares. Se ha investigado su uso en reactores de torio para producir energía eléctrica. Los defensores de esta tecnología alegan que los reactores de torio podrían ser más seguros y generar menos residuos radioactivos a largo plazo que los reactores de uranio convencionales.

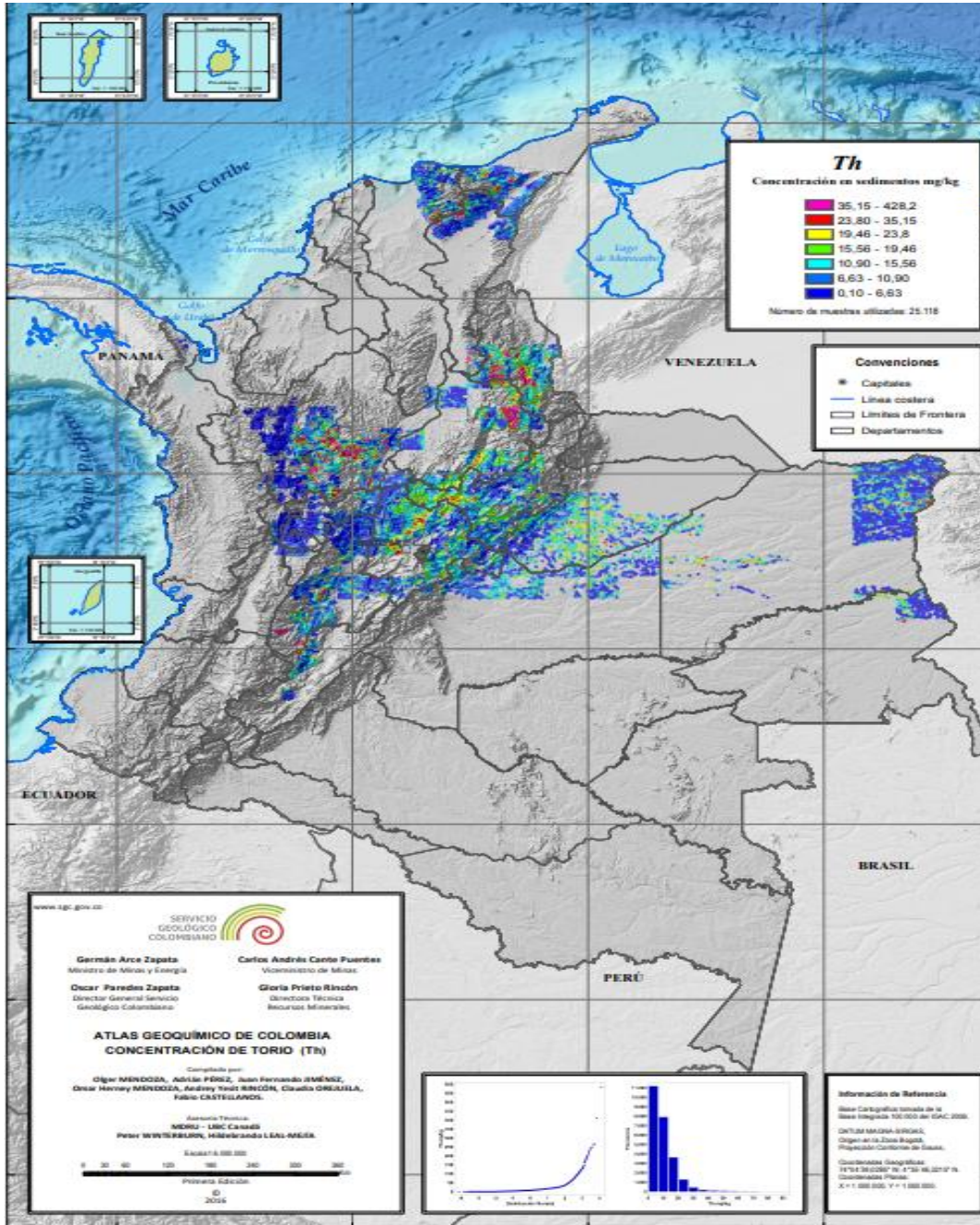
Una importante diferencia al uranio, en el contexto de la energía nuclear, es que el torio no es directamente útil para la producción de armas nucleares. La mayoría de los procesos de enriquecimiento y producción de plutonio, que son necesarios para crear armas nucleares, no son aplicables al torio.

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

Se toma el torio como un referente, debido a que el país tiene una cantidad considerable de este mineral sin explotación alguna, y que no solo puede abrir campo a un futuro combustible si se llegase a implementar la energía nuclear también impulsaría la economía del país como principal exportador de este material radioactivo a países potencias que tienen limitaciones de combustible nuclear. a continuación, se mostrará la cantidad de yacimientos de torio en Colombia.

Figura 8: mapa de calor cantidad de yacimientos de torio en Colombia



Fuente: mapa extraído página SGC <https://www.sgc.gov.co>.

La figura 8 muestra el mapa geoquímico de la cantidad de yacimientos de torio en el país, pero ¿Por qué debe tomar relevancia el torio en el país? Como se dijo anteriormente el torio en comparación al uranio no es tan radioactivo y no tiene un uso habitual, pero una

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

superpotencia como China si está empezando a utilizar y proyectar el uso del torio como principal combustible nuclear para ese país.

Los chinos empezaron con el tema de revolucionar la energía nuclear, donde están experimentando con un nuevo reactor que en vez de utilizar uranio como combustible, será el torio que lo remplace, “China confía en que se materialice en el 2030 y contribuya a reducir las emisiones de carbono” (DW, 2021). Esto convertiría a China en el mayor consumidor de torio en el mundo y sin duda llegaría a países para explotar este mineral. Colombia no es ajena a esta realidad, en donde China como superpotencia intentara influenciar sobre el país para tener acceso a los yacimientos de torio, como lo muestra la figura 8.

Conclusiones

La adopción de la energía nuclear podría permitir a Colombia diversificar su matriz energética, reduciendo su dependencia de fuentes de energía convencionales como el petróleo y el gas natural. Esto podría aumentar la resiliencia energética del país y ayudar a mitigar los riesgos asociados con la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles en el mercado internacional. Colombia no solo es rico en minerales como oro, platino y plata; también posee una riqueza en yacimientos de torio que a mediano plazo será un importante combustible nuclear a nivel mundial, y es hora de aprovechar este elemento no solo para adoptar la energía nuclear sino también como un país exportador de este mineral.

La energía nuclear, una vez establecida y operando de manera segura, podría proporcionar un suministro continuo de energía base, lo que contribuiría a garantizar la seguridad energética en el país. Esto es especialmente relevante en situaciones de crisis o interrupciones en el suministro de combustibles fósiles. Las crisis no solo se darán por escases de combustibles, la energía en el país depende en gran porcentaje de las hidroeléctricas, es decir, del agua, se pronostica que para antes del año 2050 el agua será escasa como consecuencia del cambio climático, lo anterior condicionando al país a llevar a una transformación, por lo menos en empezar a planear en una posible transición energética.

La energía nuclear es una fuente de energía de baja emisión de carbono, lo que la hace atractiva en la lucha contra el cambio climático. Su adopción podría permitir a Colombia reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero y cumplir con los compromisos internacionales de reducción de emisiones. Cada día el sistema internacional empieza a ser

más rígido en leyes y tratados para mitigar los efectos del cambio climático, las medidas y compromisos que los Estados deben adoptar.

La implementación de programas nucleares requeriría una inversión significativa en infraestructura, tecnología y capacitación especializada. Esto podría impulsar el desarrollo tecnológico y la formación de profesionales en áreas relacionadas con la ciencia y la ingeniería nuclear. Alcanzar un desarrollo tecnológico, que permita un grado de seguridad en las plantas nucleares, es de recordar que cualquier incidente nuclear en el país no solo afecta a Colombia, también puede tener alcances regionales en el continente.

La decisión de adoptar la energía nuclear tendría implicaciones en las relaciones internacionales de Colombia. El país debería establecer acuerdos y salvaguardias internacionales para asegurar un uso pacífico de la tecnología nuclear y cumplir con los estándares de seguridad y no proliferación nuclear, con países que tengan esta tecnología como es el caso de Brasil y Estados Unidos, para lograr un óptimo desarrollo en esta energía; también es importante conocer las posibles influencias e intereses de super potencias como es el caso de China, para evitar tensiones geopolíticas

También conlleva debates sobre su seguridad, viabilidad económica y aceptación pública. Colombia necesitaría un proceso de consulta y debate público transparente para abordar estas preocupaciones y obtener el respaldo de la sociedad. Brindar seguridad tanto en las plantas nucleares como en los yacimientos de combustibles nucleares que se tengan en el país. Colombia es un Estado que posee amenazas internas como es el caso de los grupos armados organizados y que históricamente estas estructuras criminales siempre han querido el control y monopolio en las zonas donde están los hidrocarburos y riquezas minerales. Un debate que puede estar en discusión y que se consultó en las entrevistas al personal del

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

Servicio Geológico Colombiano es, ¿dónde podría construirse una reactor nuclear de potencia en Colombia y Por qué? Teniendo en cuenta factores de seguridad y geográficos, no se obtuvo una respuesta sobre un área o punto determinado, pero si se obtuvo recomendaciones para la identificación de una posibles áreas teniendo en cuenta las siguientes características: 1) no se puede colocar una planta nuclear cerca de una zona costanera por situaciones naturales como un posible tsunami y fenómenos marítimos. 2) debe ser un área de baja sismicidad, por ende, se descarta sobre áreas montañosas como es el centro del país o en el departamento de Santander. 3) no se debe tener en zonas fronterizas donde esté al alcance de otras naciones con intereses geopolíticos. De igual forma en el caso de Colombia es partes donde no este controlado el orden público. 4) no puede estar en zonas donde existan corredores de tráfico aéreo, esto teniendo en cuenta posibles accidentes aéreos que puedan presentarse. 5) debe estar cerca de un lugar con acceso a fuentes hídricas. Según expertos del SGC, un reactor consume 10 veces menos agua que una hidroeléctrica. 6) no se puede construir una planta nuclear cerca a volcanes o nevados, por la misma actividad sísmica y avalanchas por deshielo. 7) ubicarlo estratégicamente para aprovechar las redes actualmente instaladas de las hidroeléctricas.

En este trabajo se proponen dos recomendaciones esenciales que ayudaran a contribuir para un aprovechamiento optimo con el tema de la implementación de la energía nuclear en Colombia. La primera es el manejo e importancia que las Fuerzas Militares colombianas deben empezar a tener con respecto a este tema, como lo fue para el año de 1965, donde el Ministerio de Guerra para entonces tenia cargo parte del desarrollo nuclear en el país. El desarrollo de nuevas tecnologías como por ejemplo el remplazo de motores diesel de los submarinos de la Armada Nacional por combustible nuclear, para lograr una

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

mejor eficiencia en las misiones submarinas y así puede ser una potencia regional a mediano plazo.

La segunda recomendación, es que el Estado colombiano debe empezar a impulsar programas académicos referentes a maestrías, especializaciones y pregrados e intercambios con universidades del continente con experiencia en estos temas, que ayuden a las nuevas generaciones a interesarse en los temas nucleares que sin duda ayudarán al país a desarrollar estas tecnologías para estar a la par de países como Argentina y Brasil.

Referencias bibliográficas

- Bermúdez, A. (2021, 29 de noviembre). *Irán y EE.UU. reanudan el diálogo: la historia de cómo Washington ayudó a crear el programa nuclear iraní hace más de medio siglo*. BBC News Mundo. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-59353563>.
- Bhutada, G. (2022). Which country is currently producing the most nuclear power? *World economic forum*. <https://www.weforum.org/agenda/2022/01/energy-nuclear-power-production-electricity-sustainable/>.
- Böll, H. (2010). Los Costos de la Energía Nuclear. *Fundación Política verde*, 3. file:///C:/Users/57310/Desktop/JEMZ/ESTRATEGIA%20Y%20GEOPOLITICA%20-%20ESDEGUE/I%20SEMESTRE/METODOLOGIA%20DE%20LA%20INVESTIGACION/MATERIAL/costos_de_la_energia_nuclear.pdf.
- Cerrano, V. (2015). *La política nuclear de Brasil en el marco del Régimen de No Proliferación Nuclear*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Rosario. <https://rehip.unr.edu.ar/handle/2133/5306>.
- Congreso de Colombia. (2023). *Plan Nacional de Desarrollo*. https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/portalDNP/PND-2023/Ley_2294_del_19_de_mayo_de_2023.pdf.
- Constitución Política de Colombia [Const]. Julio 7 de 1991 (Colombia)
- DW. (2021, 24 de septiembre). *Torio, la alternativa más limpia y segura para la energía nuclear*. [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=XkqzpXNGqYo>.
- Garduño, M. (2011). La crisis de confianza y el balance de poder entre Irán y las Grandes Potencias en la “cuestión nuclear”. *Revista de Estudios Internacionales Mediterráneos*, 10. <https://revistas.uam.es/reim/article/view/850>.
- Gros, H. (2022). América Latina y el uso pacífico de la energía nuclear. *Revista Mexicana De Política Exterior*, 50. <https://revistadigital.sre.gob.mx/index.php/rmpe/article/view/1182>.

- Guzmán, M. (2021). De rivales a socios: el camino de Argentina y Brasil para llegar a la cooperación sur-sur en energía nuclear. *Revista Integración y Cooperación Internacional*, (32). https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=DE+RIVALES+A+SOCIOS%3A+EL+CAMINO+DE+ARGENTINA+Y++BRASIL+PARA+LLEGAR+A+LA+COOPERACION+SUR-SUR+EN++ENERGIA+NUCLEAR&btnG=.
- Honty, G. (2011). Energía nuclear en América Latina: el día después. *Revista Nueva Sociedad*, (234). https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Energia+NUCLEAR+en+América+Latina+el+día+después&btnG=.
- Malamud, C & García, C. (2007). Los actores extrarregionales en América Latina (II): Irán. *Real Instituto Alcano*, (124). <https://core.ac.uk/download/pdf/42965925.pdf>.
- Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA). (2023). *Estatuto de la OIEA*. <https://www.iaea.org/es/el-oiea/estatuto>.
- Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA). (2023). *El OIEA y el Tratado sobre la No Proliferación*. <https://www.iaea.org/es/temas/el-oiea-y-el-tratado-sobre-la-no-proliferacion#:~:text=El%20Tratado%20sobre%20la%20No%20Proliferaci%C3%B3n%20de%20las%20Armas%20Nucleares,el%20desarme%20general%20y%20completo>.
- Padinger, G. (2023, 21 de febrero). *¿Qué es el tratado de armas nucleares Nuevo START del que Rusia suspende su participación y qué puede pasar ahora?* CNN. <https://cnn.espanol.cnn.com/2023/02/21/tratado-new-start-armas-nucleares-rusia-orix/>.
- Proyecto de ley 2021. Por el cual se modifica el título y se adiciona un capítulo a la Ley 1715 de 2014. Septiembre 27 de 2021.
- Ramírez, D. (2021, 9 de agosto). Estudio advierte que más 250 ciudades en el mundo se quedarán sin agua en 2050. *W radio*. https://www.wradio.com.co/noticias/medio_ambiente/estudio-advier-te-que-mas-250-ciudades-en-el-mundo-se-quedaran-sin-agua-en-2050/20210809/nota/4157148.aspx.
- Sandoval, J. (2023, 18 de abril). *Evolución energía nuclear en Colombia*. [Grabación de audio de una entrevista]. Sistema Geológico Colombiano. Autoría propia

Squassoni, S. (2009). Energía nuclear: Renacimiento en América Latina. *Carnegie Endowment for International Peace*.
https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Energ%C3%ADa+nuclear%3A+Renacimiento+en+Am%C3%A9rica+Latina&btnG=.

Thomas, S. (2010). Los Costos de la Energía Nuclear: Una Actualización. *La Fundación Política Verde*.
https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Los+Costos+de+la+Energ%C3%ADa+Nuclear%3A+Una+Actualizaci%C3%B3n&btnG=.

Recursos gráficos

Figura 1. Fuente: elaboración propia, con base a información recolectada en Govind Bhutada (World economic fórum). 24 de abril 2023, pag.16

Figura 2. Fuente: elaboración propia, con base a información recolectada en DW e OIEA. 10 de julio 2023

Figura 3. Fuente: elaboración propia, fotografía tomada SGC 18 abril 2023

Figura 4. Fuente: elaboración propia, fotografía tomada SGC 18 abril 2023

Figura 5. Fuente: elaboración propia, fotografía tomada SGC 18 abril 2023

Figura 6. Fuente: elaboración propia, información recolectada por el Banco Interamericano de desarrollo <https://blogs.iadb.org/energia/es/la-matriz-energetica-de-colombia-se-renueva/#:~:text=De%20esta%20capacidad%20instalada%2C%20el,%2C%20solar%2C%20y%20biomasa>). 26 de julio.

Figura 7: Fuente: elaboración propia. Información extraída de entrevistas de expertos en visita al SGC.

Figura 8: Fuente: mapa obtenido por la página del sistema geológico colombiano.
<https://www.sgc.gov.co/>.