

Consideraciones para la ubicación de una central nuclear de potencia en Colombia

Considerations for the location of a nuclear power plant in Colombia

Alejandro Restrepo Giraldo¹, Nataly Gómez Garzón²

Recibido: 25/072023 y Aceptado: 16/11/2023

ENERLAC. Volumen VII. Número 2. Diciembre, 2023

ISSN: 2602-8042 (impreso) / 2631-2522(digital)



101

1.- alejandro.restrepo19@udea.edu.co
0000-0002-7811-6252
2.- Solenium S.A.S Ingeniera física
nataly@solenium.co
0009-0003-9683-3364



Resumen

Se estudian criterios relativos a la geografía y determinadas actividades humanas para la selección de sitio de una hipotética planta de energía nuclear en Colombia, de acuerdo a las recomendaciones del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Se analiza cada criterio en el contexto particular de la geografía colombiana mediante mapas desplegados en un portal web para su libre consulta. Adicionalmente, se sugieren aspectos particulares para Colombia relacionados a la conservación de la biodiversidad y los ecosistemas. Tomando en cuenta estos criterios, se sugieren dos regiones potenciales para la localización de una planta nuclear en Colombia.

PALABRAS CLAVE: Central nuclear de potencia, selección de sitio, nucleoelectricidad, generación eléctrica, evaluación de riesgo.

Abstract

Criteria related to geography and certain human activities are studied for the site selection of a hypothetical nuclear power plant in Colombia according to the recommendations of the International Atomic Energy Agency (IAEA). Each criterion is analyzed in the particular context of Colombian geography through maps displayed on the web for its free consultation. Additionally, particular aspects for Colombia related to the conservation of biodiversity and ecosystems are suggested. Considering these criteria, two potential regions are suggested for the location of a nuclear plant in Colombia.

103

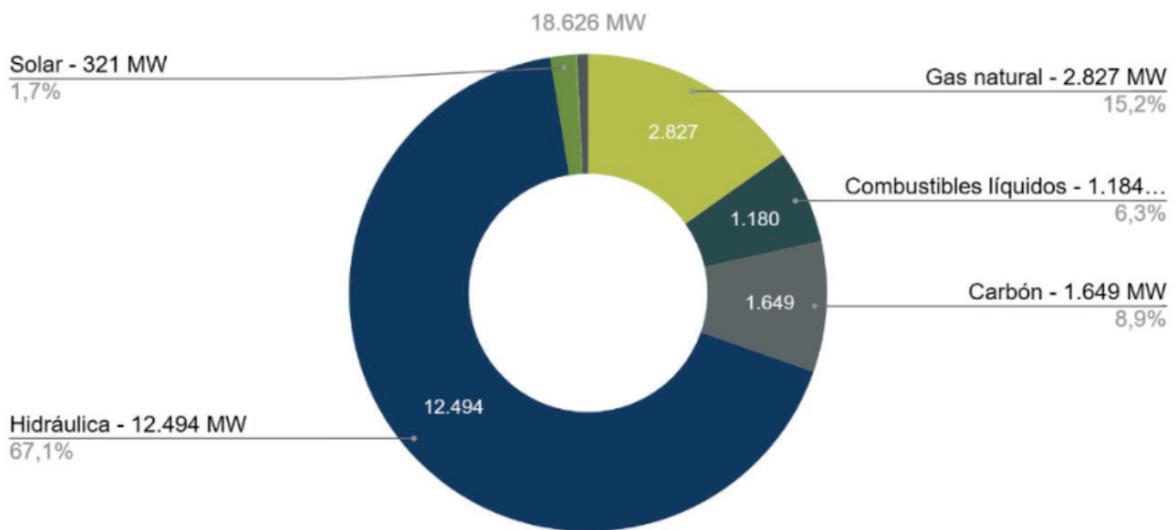
KEYWORDS: Nuclear power plant, site selection, nuclear electricity, electric generation, risk evaluation.

1. INTRODUCCIÓN

En un mundo cada vez más preocupado por la seguridad energética y la mitigación del cambio climático, la nucleoelectricidad se presenta como una opción necesaria para satisfacer la demanda creciente de energía firme y limpia. La alta dependencia de la generación hidroeléctrica,

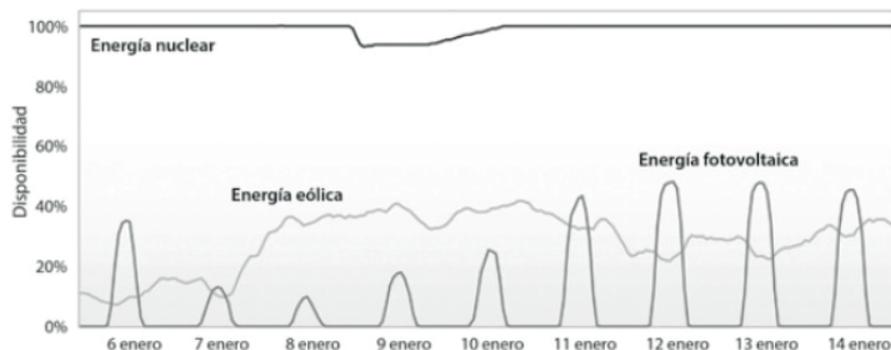
alrededor de 67% de la matriz energética total (UPME, 2023), hace a Colombia vulnerable ante la variabilidad climática y, por tanto, se enfrenta a la necesidad de diversificar su matriz energética. (Ver figura 1).

Figura 1: Matriz eléctrica colombiana en 2022. Tomada de (UPME, 2023).



Aunque la geografía colombiana cuenta con zonas de alta abundancia en fuentes de energía renovable, estas presentan desafíos debido a su suministro variable y su ubicación en territorios alejados de las zonas de alta demanda, lo cual implica el desarrollo de infraestructura adicional para su explotación. Debido a esto que surge la

necesidad de considerar la generación de energía eléctrica de origen nuclear en Colombia, que provea un suministro firme y sin emisiones de gases de efecto invernadero que complemente a las fuentes de energía renovables. Estas características se muestran en la Figura 2.



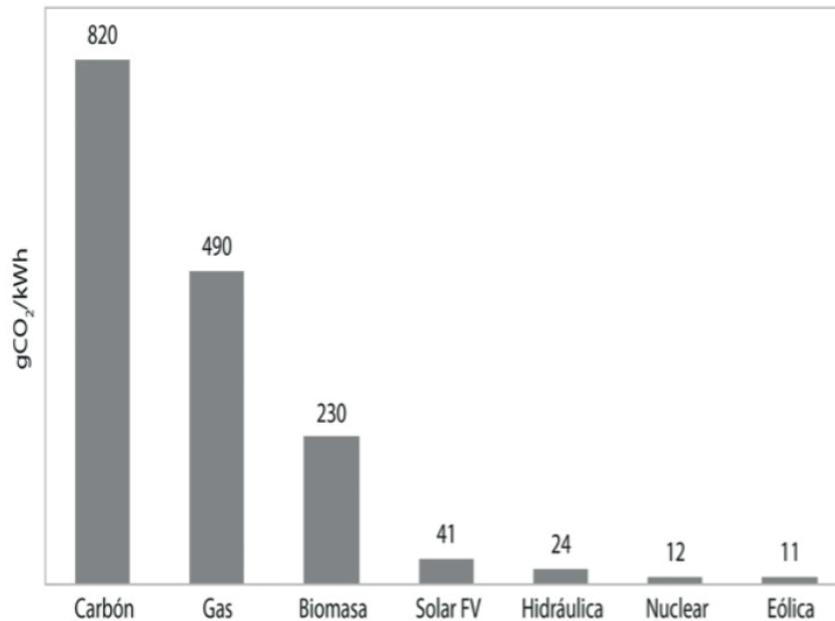


Figura 2: Ventajas de la energía nuclear. Arriba: Disponibilidad de generación solar, eólica y nuclear. Abajo: g CO₂/kWh de diferentes fuentes de generación. Tomadas de (Ordóñez, 2023).

Aunque la localización de una planta nuclear es menos restringida que estas otras fuentes de generación limpia, se deben seguir ciertos estándares respecto a amenazas de origen natural y actividades humanas para la selección de sitio. Estos buscan garantizar la seguridad de los trabajadores, las comunidades circundantes y el medio ambiente en general, minimizando así el riesgo de accidentes. Pensando en la futura incursión de Colombia en la nucleoelectricidad, en este artículo se analizan los aspectos más importantes de acuerdo a recomendaciones en (OIEA 2015, 2012, 2015) y el estudio realizado en (CCHEN, 2018) para determinar las posibles ubicaciones de una planta nuclear en el caso particular de la geografía colombiana.

En la primera sección del artículo se analizan los criterios de exclusión, es decir, las características de una zona que la hacen inapropiada para

albergar una planta nuclear. Además, se abordan los criterios de elusión que son las propiedades de una zona específica que implican una amenaza para la seguridad de una central nuclear, pero cuyos riesgos pueden reducirse mediante la implementación de mecanismos de seguridad adecuados. También se consideran algunos criterios de viabilidad en relación a la infraestructura actual del país. Se proporciona la fuente de información correspondiente a cada uno de los criterios, así como las fechas de última actualización de los datos. Todos estos criterios se analizan y se representan sobre un mapa de Colombia desplegado en un portal web para su libre consulta. En la segunda sección, se utilizan estos criterios para proponer dos regiones potenciales para la ubicación de una planta nuclear.

2. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN Y ASPECTOS A CONSIDERAR

En las referencias (OIEA 2015, 2012, 2015) se definen los aspectos a considerar para garantizar la seguridad física de las instalaciones nucleares en relación a amenazas naturales y riesgos debidos a actividades humanas generados de manera accidental. Se definen las zonas de exclusión como aquellos sitios geográficos que por sus características naturales presentan amenazas difíciles de reducir a través de soluciones prácticas de ingeniería y, por tanto, son inaceptables para albergar una instalación nuclear. También se definen las zonas de elusión que se refieren a aquellas localizaciones en las que las amenazas naturales pueden gestionarse mediante soluciones ingenieriles factibles, pero incrementarían los costos debido a los protocolos y la tecnología necesaria a implementar para garantizar la seguridad de las instalaciones. Aquellas zonas que no posean riesgos considerables se denominan como idóneas y el proceso de selección definitivo se realiza mediante una clasificación de acuerdo a la disponibilidad de los recursos necesarios para la operación de la instalación nuclear específica.

Considerando que la instalación nuclear de interés es un reactor de potencia, en esta sección se estudian estos criterios de exclusión para el caso de la geografía colombiana, detallando sobre la obtención y tratamiento de tales datos, los cuales se muestran de manera gráfica en un mapa geográfico de Colombia. Se añaden otros aspectos relevantes para el caso particular de Colombia relativos a la conservación de especies, ecosistemas endémicos y aspectos relacionados a recursos específicos para el funcionamiento de la central nuclear. Este mapa se puede visualizar en la ruta (AUTOR, 2023) en donde se pueden consultar coordenadas geográficas exactas e interactuar con cada uno de los criterios. El mapa fue desarrollado con la API de servicios geográficos HERE y la plataforma Colombia en Mapas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2023) fue utilizada como intermediario para la obtención de gran parte de los datos.

2.1 Aspectos de salud, seguridad y protección física:

2.1.1 Tamaño de población:

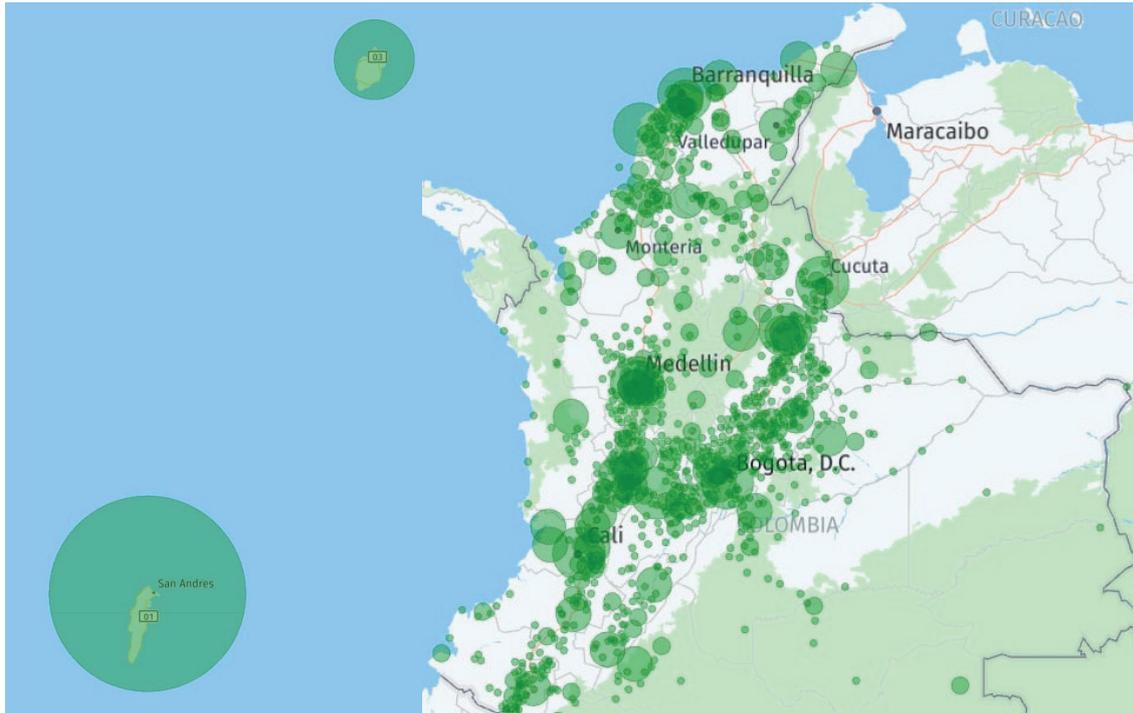
De acuerdo a la referencia (EPRI, 2002), las centrales de generación de electricidad deben encontrarse a cierta distancia mínima de pueblos y ciudades de acuerdo al tamaño de la población. Estos radios de exclusión se muestran en la tabla 1 tomada de (CCHEN, 2018). En la figura 3 se

muestran los radios de exclusión para los pueblos y ciudades registrados en la API GeoNames (GeoNames, 2023) de más de 500 habitantes, contando con 1,054 registros y fecha de corte el año 2023.

Tabla 1. Radios de exclusión en función del tamaño de población.

Tamaño población	Distancia de exclusión [Km]
≤ 25,000	6.5
entre 25,000 y 100,000	16
entre 100,000 y 500,000	32.2
500,000 ≤	48.3

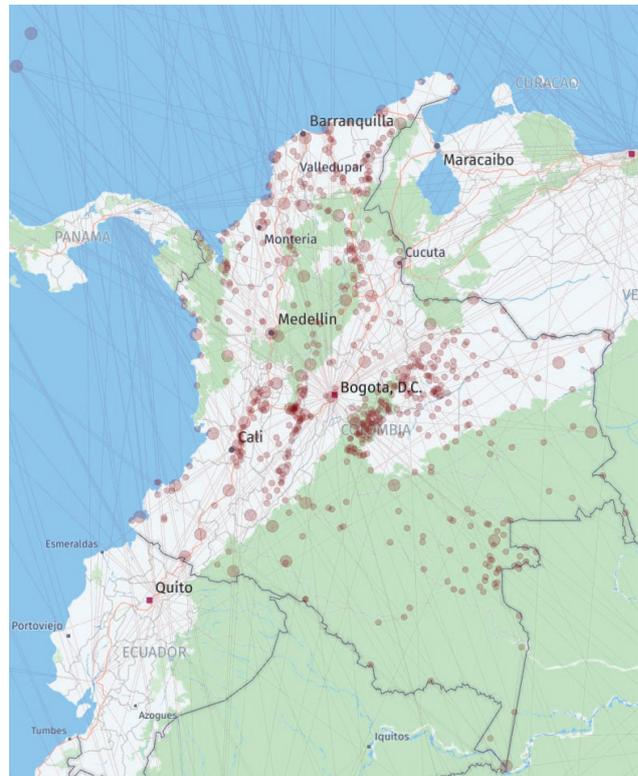
Figura 3: Zonas de exclusión por tamaño de población.



2.1.2 Aeropuertos y rutas aéreas:

Los datos de este aspecto fueron obtenidos de la API OpenFlights (OpenFlights, 2023) con fecha de corte del 2017. Se consideraron todos los aeropuertos de Colombia registrados en esta base de datos, sumando 660 en total. Para los aeropuertos de la red primaria se traza una zona de exclusión de 16 km de radio y para los demás de 8 km (NRC, 2014). También se consideran las aerovías, por lo cual se grafican las rutas aéreas salientes y entrantes a aeropuertos en Colombia y rutas internacionales sobre el espacio aéreo colombiano con fecha de corte del 2014. Para estas no se tiene en cuenta la curvatura de la tierra debido a la relativamente corta longitud de las trayectorias sobre el territorio nacional, por lo cual deben tomarse como aproximaciones y no como exactas. Este criterio se muestra en la figura 4.

Figura 4: Zonas de exclusión por aeropuertos y aerovías sobre el territorio colombiano.

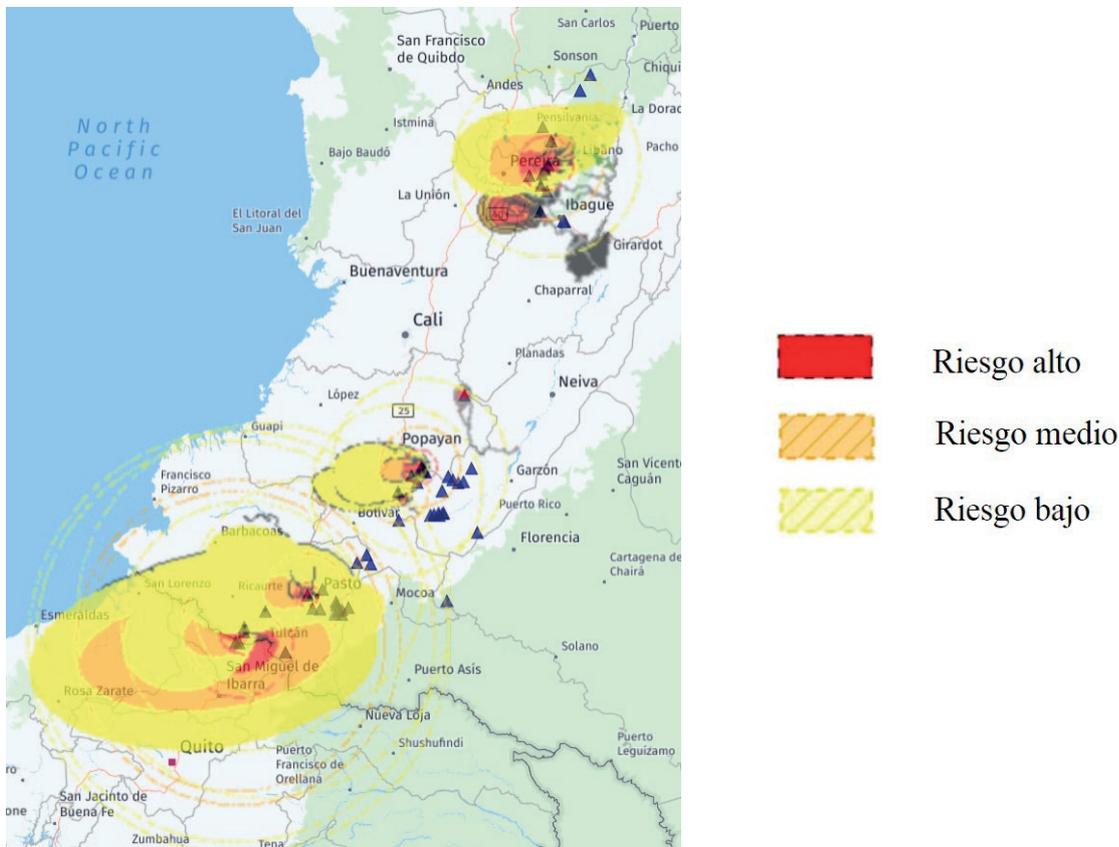


2.1.3 Volcanes y riesgo por caída de piroclásticos:

Estos comprenden amenazas debidas principalmente a flujos de lava, caídas de piroclásticos, avalanchas y lahares. Los datos de la localización de volcanes y los riesgos por actividad volcánica se obtuvieron del Servicio Geológico Colombiano (SGC) con fecha de corte del año 2017 de la petición (SGC, 2023). La zonificación del riesgo se clasifica mediante los

colores rojo que indican amenaza alta, naranja amenaza media y amarillo amenaza baja, cada uno con especificaciones sobre el tipo de amenaza y acumulaciones de piroclásticos, las cuales se pueden detallar, por ejemplo en (SGC, 2015). Este aspecto se muestra en la figura 5.

Figura 5: Volcanes y riesgo por actividad volcánica.



2.1.4 Sismicidad:

La sismicidad no es un criterio de exclusión, puesto que incluso países con actividad sísmica alta como Japón y México generan energía eléctrica de origen nuclear. Este aspecto debe considerarse para implementar los mecanismos necesarios en la puesta en marcha de una central nuclear con el fin de minimizar los riesgos y garantizar la seguridad física de las instalaciones ante eventos

sísmicos. Los datos fueron obtenidos del SGC con fecha de corte el año 2020 y se muestran en la figura 6 en donde las zonas de actividad sísmica clasificadas como alta, media y baja se relacionan con los colores rojo, amarillo y verde respectivamente.

Figura 6: Actividad sísmica de Colombia.



2.1.5 Fallas geológicas:

Para este criterio se deben analizar ciertas características de la falla geológica como su longitud, profundidad, evidencia de movimientos, deformaciones o dislocaciones de naturaleza recurrente e influencia sobre las fallas cercanas para ser clasificadas como fallas capaces (IAEA, 2019) y representar una amenaza a la integridad de la instalación nuclear. Para este trabajo no se detallan estos aspectos, lo cual requiere un estudio posterior más detallado, solo se añaden al mapa todas las fallas geológicas registradas en las bases de datos del SGC con fecha de corte el año 2018 y las cuales pueden observarse en la figura 7.

Figura 7: Fallas geológicas de Colombia.

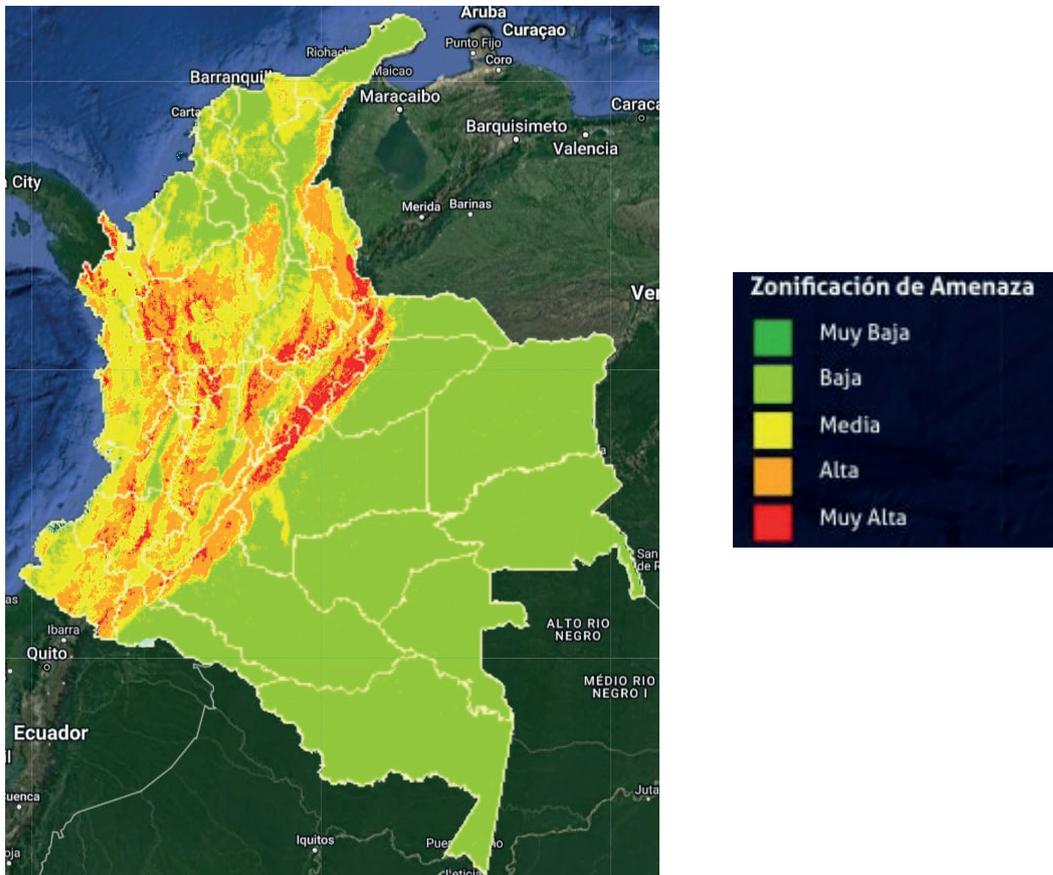


2.1.6 Riesgo por remoción en masa:

Este aspecto no se implementó en el mapa de los autores, por tanto, se referencia el proveído por el SGC en el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA) (SIMMA, 2023). Se consideran

como zonas de exclusión las regiones coloreadas de rojo y naranja identificadas como amenaza alta y muy alta de remoción de masa. Este se puede observar en la figura 8.

Figura 8: Riesgo por remoción en masa.



2.1.7 Focos de incendios forestales:

Los incendios forestales tienen el potencial para afectar la seguridad de las instalaciones del reactor nuclear y su conexión a la red eléctrica, como ya se ha reportado en (CNEA, 2023). Se identifican los focos de incendios forestales mostrados

en la figura 9. Los datos fueron obtenidos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) con fecha de corte el año 2019.

Figura 9: Focos de incendios forestales.



111

2.1.8 Riesgo de inundaciones:

Los riesgos por inundaciones debidos a causas naturales o artificiales deben ser considerados. En el mapa se muestran registros de inundaciones con profundidad aproximada de 5.70 m por causas naturales en tiempo de retorno de 50 años, es decir, igualables o superables estadísticamente una vez cada 50 años. Estos datos se obtuvieron del IDEAM con fecha de corte el año 2019. Se requiere un estudio más detallado de las posibles afectaciones generadas por actividades industriales o energéticas sobre el recurso hídrico de la planta nuclear, con el fin de evitar situaciones de riesgo como la generada por el conflicto Ucrania-Rusia en la central de Zaporizhzhia debido a la destrucción de la hidroeléctrica de Nova Kakhovka (IAEA, 2023).



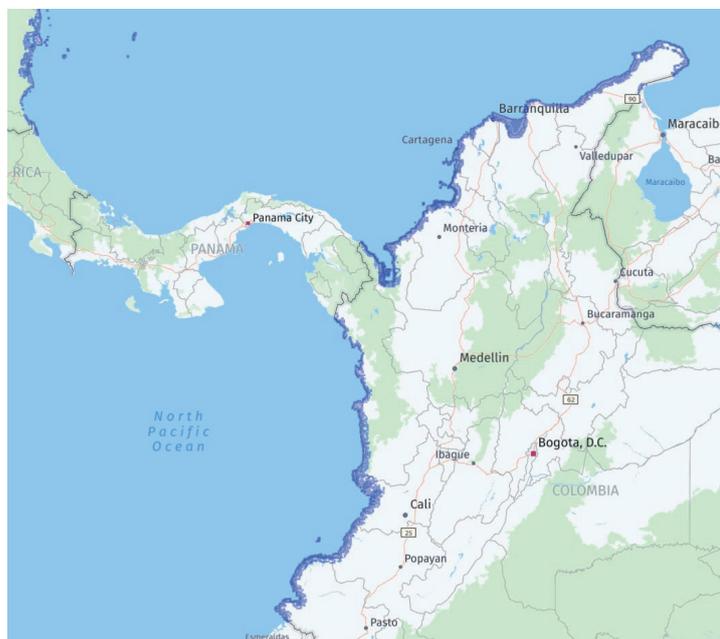
Figura 10: Registros de inundaciones con profundidad aproximada de 5.70 m por causas naturales en tiempo de retorno de 50 años.

2.1.9 Riesgo de tsunamis:

De manera similar al riesgo por inundaciones debe considerarse el riesgo por tsunamis. Muchas centrales nucleares en el mundo se refrigeran con el agua del mar, pero es necesario la evaluación de los riesgos y la implementación de mecanismos de seguridad para afrontar posibles situaciones

como la presentada en el accidente de Fukushima en 2011 (IAEA, 2015). Las zonas expuestas a este fenómeno hidrometeorológico se muestran en la figura 11 de la cual los datos fueron obtenidos del SGC con fecha de corte de 2021.

Figura 11: Zonas expuestas a afectaciones por tsunamis.



2.2 Aspectos sociales y económicos:

2.2.1 Resguardos indígenas:

Debido a la presencia de los pueblos indígenas en Colombia, deben considerarse sus reclamaciones sobre la tierra, respetando sus territorios y resguardos ocupados actualmente. En principio se consideran como zonas de exclusión los resguardos indígenas legalizados, aunque no se descartan posibles acuerdos. Los datos fueron obtenidos de la Agencia Nacional de Tierras (ANT) y se muestran en la figura 12.

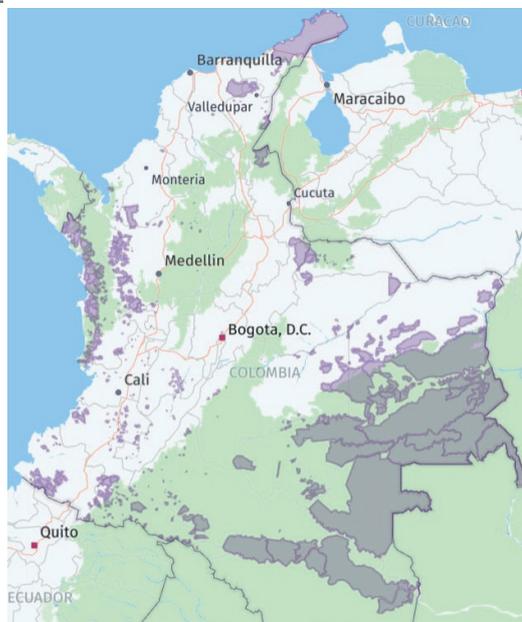


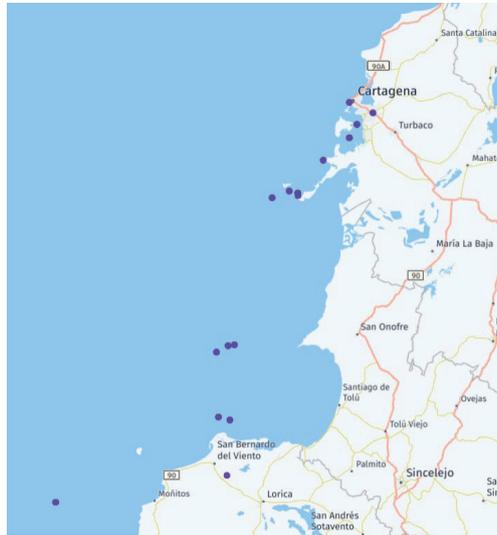
Figura 12: Resguardos indígenas legalizados.

2.2.2 Lugares turísticos y patrimonios de la humanidad:

Debido a la percepción de riesgo y el hecho de que una planta nuclear se asocia a la industria y tecnología, esto puede afectar negativamente la actividad turística local que generalmente busca garantizar espacios tranquilos y cercanos a la naturaleza. En el mapa se señalan los principales

100 sitios turísticos y los 9 sitios patrimonio de la humanidad de Colombia. En la figura 13, se destacan únicamente los puntos turísticos cercanos a la ciudad de Cartagena, mientras que en otras regiones del mapa se marcan los restantes puntos de interés turístico.

Figura 13: Focos turísticos y patrimonio de la humanidad en las cercanías de la ciudad de Cartagena.



2.2.3 Zonas y distritos militares:

La actividad militar se considera como una actividad peligrosa por naturaleza y deben considerarse los emplazamientos militares para la localización de la central nuclear. Estos se muestran en la figura 14 para la ciudad de Bogotá, cuyos datos fueron obtenidos de (Ejército Nacional de Colombia, 2023).

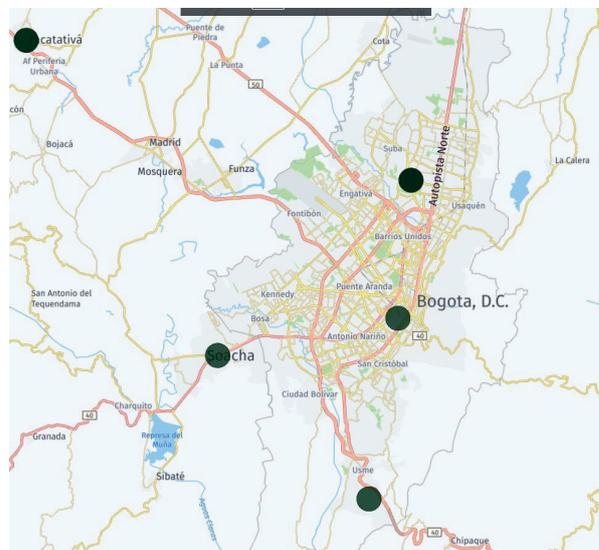


Figura 14: Zonas y distritos militares en las cercanías de la ciudad de Bogotá.

2.2.4 Sitios arqueológicos:

Debido a la presencia de los pueblos indígenas desde hace miles de años en el territorio colombiano, existen yacimientos arqueológicos remanentes de sus asentamientos y actividades, los cuales son valiosos para el entendimiento de las costumbres y formas de vida de estos los

pueblos originarios. Tales localizaciones deben ser tratadas como zonas de exclusión. Estas zonas fueron implementadas en el mapa y un ejemplo de su visualización se muestra en la figura 15.

Figura 15: Zonas arqueológicas protegidas en las cercanías de Zipaquirá.



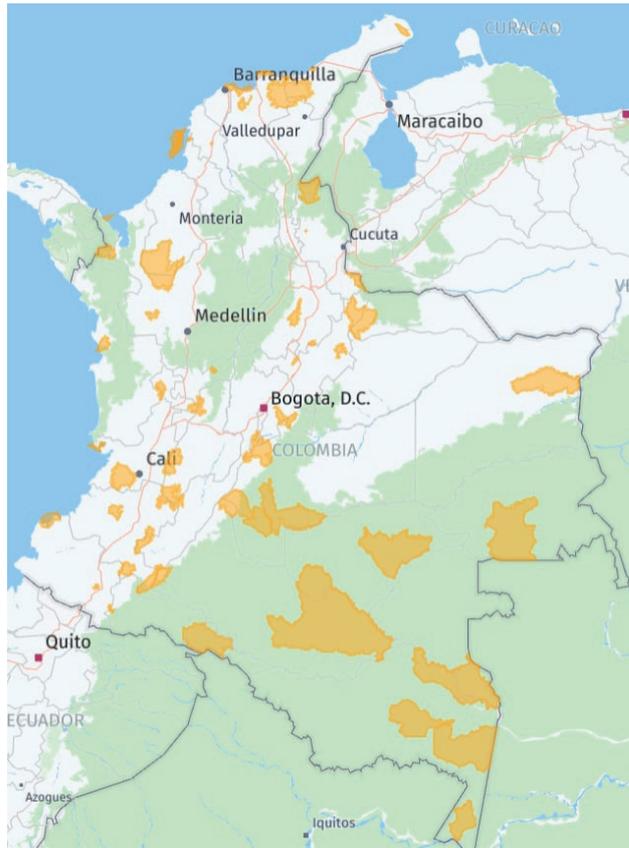
2.3 Aspectos ambientales:

2.3.1 Parques nacionales naturales:

En este criterio se consideran las reservas naturales, áreas naturales únicas, santuarios de flora, santuarios de fauna y vías parques nacionales. Debido a su propósito para con la conservación de la riqueza natural de Colombia se consideran como zonas de exclusión. Los

datos fueron obtenidos de la entidad Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN) con fecha de corte del 2017 y se observan en la figura 16.

Figura 16: Reservas naturales, áreas naturales únicas, santuarios de flora, santuarios de fauna y vías parques nacionales.



115

2.3.2 Áreas importantes para la conservación de especies de aves:

Debido a que Colombia es el país con mayor diversidad de especies de aves, contando con 1,954 especies, un 20% del total global (WWF, 2023), es necesario que las actividades industriales y energéticas en general no afecten los ecosistemas importantes para su proliferación. En la figura 17 se señalan las zonas importantes para su conservación de las especies de aves cuyos datos fueron obtenidos del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH) con fecha de corte de 2015.

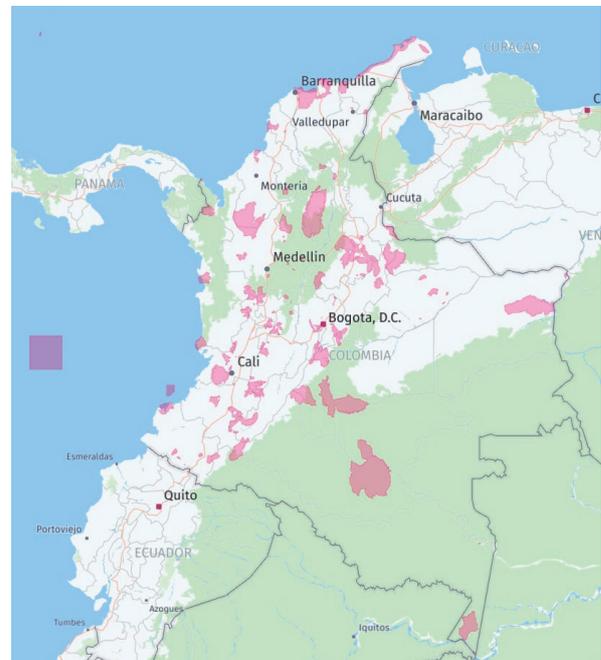


Figura 17: Zonas importantes para la conservación de las especies de aves.

2.3.3 Complejos de páramos:

Los páramos son esenciales para Colombia debido a su papel en la regulación hídrica y su biodiversidad única, por lo cual se consideran como zonas de exclusión para cualquier actividad

energética o industrial. Los complejos de páramos se muestran en la figura 18, los datos fueron obtenidos de IAvH con fecha de corte de 2014.

Figura 18: Complejos de páramos de Colombia.



2.3.4 Prioridades de conservación nacional CONPES 3680:

En el documento de CONPES 3680 (CONPES, 2010) el cual establece los lineamientos para las áreas protegidas de Colombia y se sugiere la creación de nuevas áreas protegidas con el

propósito de conservar ecosistemas únicos. Estas se muestran en la figura 19, cuyos datos fueron obtenidos de PNN con fecha de corte 2020.

Figura 19: Prioridades de conservación Nacional CONPES 3680.



2.4 Aspectos ingenieriles y costos:

2.4.1 Líneas licenciadas de transmisión eléctrica:

La planta nuclear debe conectarse a la red de transmisión eléctrica y localizarse preferiblemente en las cercanías de una línea para evitar costos adicionales. La figura 20 muestra las líneas licenciadas de transmisión eléctrica existentes al año 2020 obtenidas de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). Debido a los plazos

de puesta en marcha de las centrales nucleares (IAEA, 2015), un análisis más detallado consistiría en la evaluación respecto a las proyecciones de la expansión de la red eléctrica para el 2033 de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) (UPME, 2023) asumiendo la realización oportuna de estos proyectos.

Figura 20: Líneas licenciadas de transmisión eléctrica a 2020.

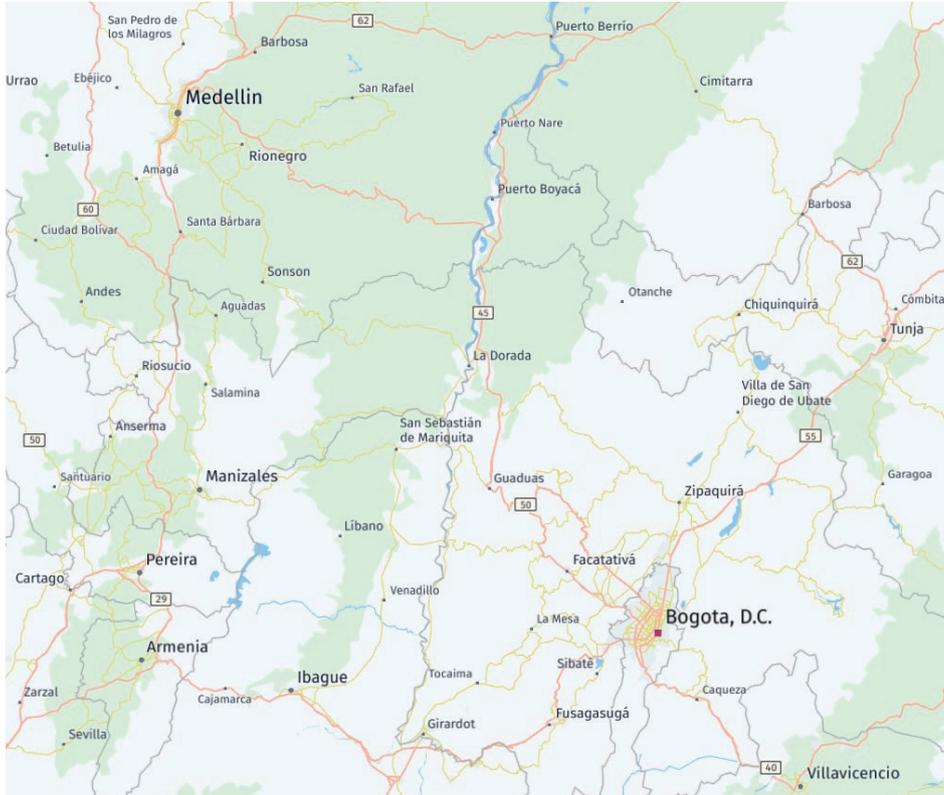


2.4.2 Red vial:

Las redes viales e infraestructura de transporte son importantes para la accesibilidad a la localización de la central durante su construcción y en un hipotético caso de accidente, de manera

que se pueda reaccionar rápida y efectivamente. Esta infraestructura se señala en el propio mapa de la API de HERE. En la figura 21 se muestran por ejemplo las vías entre Medellín y Bogotá.

Figura 21: Red vial entre Medellín y Bogotá.



2.4.3 Fuentes hídricas:

La presencia de una fuente hídrica con un caudal disponible constante de acuerdo a la potencia del reactor es esencial para el funcionamiento de los sistemas de refrigeración. Esta puede provenir del mar, un río o lago, por lo cual se deben analizar los cuerpos de agua disponibles en la selección de sitio. Estos se muestran en el mapa de la API de HERE con un color azul, tal como en la figura 22 se muestra por ejemplo el río Magdalena.

Figura 22: Representación de los cuerpos de agua en el mapa. En este ejemplo se muestra el río Magdalena.



3. ANÁLISIS DE ZONAS VIABLES

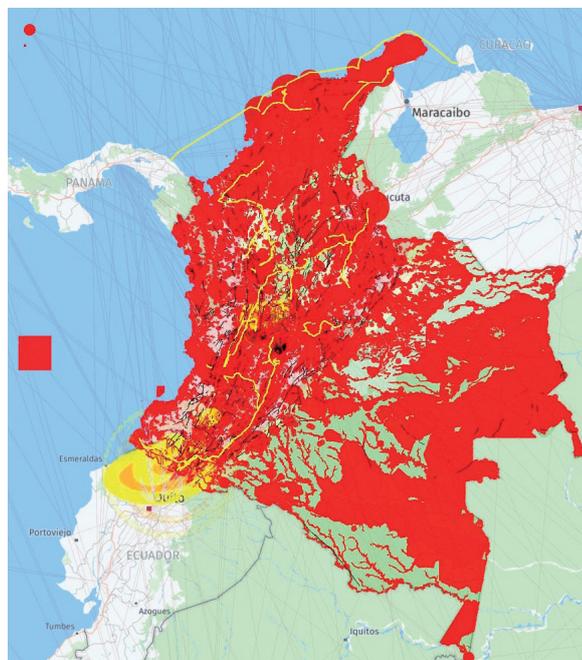
Considerando todos los aspectos mencionados en la sección 2, se genera el mapa mostrado en la figura 23. En esta se destacan dos regiones por estar libres de aspectos geográficos, económicos, sociales y ambientales que pudiesen amenazar a la seguridad de la hipotética planta nuclear o afectar las actividades humanas allí. Adicionalmente, se encuentran relativamente cerca de las zonas de alta demanda energética y de las líneas de transmisión eléctrica. Estas son la región occidental de la Orinoquía y la región andina norte, señaladas en la figura 24.

La primera zona sugerida cuenta con las características:

1. Sismicidad baja.
2. Localizaciones con ausencia de aspectos amenazantes de origen geológico e hidrometeorológico.

3. Riesgo por remoción en masa bajo.
4. Ausencia de reservas naturales y resguardos indígenas.
5. Ausencia de fallas geológicas.
6. Cercanía a la red nacional de transmisión eléctrica.
7. Accesibilidad mediante la ruta nacional 40.
8. Recursos hídricos provenientes de los ríos Meta y Manacaías.
9. Baja densidad poblacional.
10. Ausencia de centrales hidroeléctricas.

Figura 23: Mapa incluyendo todos los criterios considerados, excepto riesgo por remoción en masa y zonas de interés arqueológico.

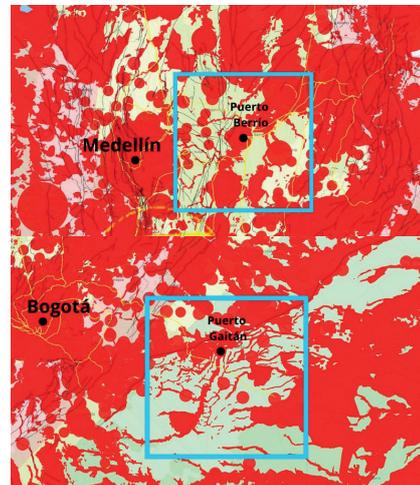


La segunda zona sugerida cuenta con las ventajas:

1. Sismicidad media.
2. Localizaciones con ausencia de aspectos amenazantes de origen geológico e hidrometeorológico.
3. Riesgo por remoción en masa medio.
4. Ausencia de reservas naturales y resguardos indígenas.
5. Cercanía a la red nacional de transmisión eléctrica.
6. Accesibilidad mediante las rutas nacionales 62 y 45.
7. Recurso hídrico proveniente del río Magdalena.
8. Ausencia de centrales hidroeléctricas.

Un estudio más profundo requeriría analizar los suelos y vientos de estas regiones de Colombia de acuerdo a las recomendaciones en (OIEA 2015, 2012, 2015) para determinar, en caso de un accidente, el movimiento de material radiactivo escapado. Es también necesario un análisis más detallado sobre los caudales de las fuentes hídricas, lo cual limitaría la potencia posible del reactor y las zonas de turismo ecológico presentes en estas regiones.

Figura 24: Regiones con potencial para albergar una central nuclear.



4. CONCLUSIONES

Se analizaron los aspectos sugeridos por el OIEA para garantizar la seguridad física de una hipotética planta nuclear en Colombia relativos a la geografía y determinadas actividades humanas en el territorio. Mediante la creación de un mapa en donde se señalan estos criterios, se postulan dos zonas para la localización de una central nuclear relativamente libres de amenazas naturales y viables por la presencia de recursos hídricos, accesibilidad e infraestructura para la transmisión de energía eléctrica.

A la espera de la incursión de Colombia en la nucleoelectricidad, se aporta a la gestación de este proyecto mediante sugerencias y análisis de los aspectos más importantes para la selección de sitio. Si bien este estudio no es definitivo, introduce de manera general los criterios a considerar e invita a continuar la discusión mediante análisis más detallados, de manera que se tomen decisiones más

informadas y responsables durante este proceso.

Como aspectos a mejorar se mencionan la implementación de bases de datos más confiables y actualizadas respecto a los criterios de población y rutas aéreas, preferiblemente provenientes de entidades gubernamentales. Respecto al criterio de riesgo por remoción en masa que se deja como un mapa externo, se espera incluir en el mapa desarrollado para futuras actualizaciones. Se propone como perspectiva el análisis más detallado de las zonas sugeridas en aspectos socioeconómicos, análisis de suelos y vientos. Otra característica que no fue cubierta es la del conflicto armado, el cual en un panorama optimista se espera que no obstaculice el desarrollo energético del país en cuanto a la generación de origen nuclear.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo y la iniciativa de la empresa Solenium S.A.S. por promover la energía nuclear desde el sector privado, sin el cual no hubiera surgido este proyecto. De igual manera agradecemos a la Universidad de Antioquia y a los académicos allí por promover programas educativos e investigaciones en torno a la nucleoelectricidad. Finalmente y no menos importante, agradecemos a nuestras respectivas familias por su apoyo incondicional y constante en nuestras carreras.

121

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN). (2018). Consideraciones para el Emplazamiento de una Central Nuclear de Potencia (CNP) en Chile. Estudios CCHEN. <https://www.cchen.cl/pdf/informes2018/Informe%20Final%20de%20Emplazamiento%20ODENP%202018.pdf>

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2023). Plan energético nacional (PEN) 2022-2052.

Ordóñez, M. F. (2023). Nucleares: Sí, por favor: Por qué la energía nuclear es la Energía del Futuro. Ediciones Deusto.

Consejo Nacional de Política Económica y Social República de Colombia (CONPES). (2010). Documento Conpes 3680. Lineamientos para la consolidación del sistema nacional de áreas protegidas. <http://cpps.dyndns.info/cpps-docs-web/planaccion/biblioteca/pordinario/Colombia/sinap.pdf>

Electric Power Research Institute (EPRI). (2002). Siting Guide: Site Selection and Evaluation Criteria for an Early Site Permit Application.

Focos de incendio en cercanía al Complejo Nuclear Atucha, Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). <https://www.argentina.gob.ar/arn/focos-de-incendio-en-cercania-al-complejo-nuclear-atucha>

GeoNames geographical database. (26 junio 2023). <https://www.geonames.org>

International Atomic Energy Agency (IAEA). (2019). Site Evaluation for Nuclear Installations. IAEA Safety Standards, Specific Safety Requirements No. SSR-1. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1837_web.pdf

International Atomic Energy Agency (IAEA). (2015). Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power. IAEA Nuclear Energy Series Publications, IAEA Nuclear Energy Series No. NG-G-3.1 (Rev. 1). https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1704_web.pdf

International Atomic Energy Agency (IAEA). (2015). The Fukushima Daiichi Accident. Report by the Director General. <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1710-ReportByTheDG-Web.pdf>

International Atomic Energy Agency (IAEA). (2012). Managing Siting Activities for Nuclear Power Plants. IAEA Nuclear Energy Series Publications No. NG-T-3.7. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1565_web.pdf

International Atomic Energy Agency (IAEA). (2015). Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations. IAEA Safety Standards, Specific Safety Guide No. SSG-35. <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1690Web-41934783.pdf>

IAEA Director General Statement on Situation in Ukraine, International Atomic Energy Agency (IAEA). <https://www.iaea.org/nuclear-safety-and-security-in-ukraine>

Mapa amenaza Volcán Nevado del Ruíz, Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2015). <https://www2.sgc.gov.co/sgc/volcanes/VolcanNevadoRuiz/Paginas/Mapa-amenaza.aspx>

OpenFlights Airport, airline and route database. (26 junio 2023). <https://openflights.org/data.html>

Amenaza volcánica SGC. (26 junio 2023).

https://srvags.sgc.gov.co/arcgis/rest/services/Amenaza_Volcanica/Amenaza_Volcanica/MapServer/export?bbox=-82.59019660585712%2C+-1.8136980652597394%2C+-72.67901651118181%2C+8.097482029415563&bboxSR=&layers=show%3A1%2C2%2C3%2C5%2C6%2C7%2C8%2C10%2C11%2C12%2C17%2C18%2C19%2C21%2C22%2C23%2C25%2C26%2C27%2C28%2C30%2C31%2C32%2C33%2C35%2C36%2C38%2C40%2C41%2C42%2C43%2C44%2C46%2C47%2C48%2C50%2C51%2C53%2C54%2C55%2C56&layerDefs=&size=600%2C600&imageSR=102100&format=png&transparent=true&dpi=100&time=&layerTimeOptions=&dynamicLayers=&gdbVersion=&mapScale=&rotation=&f=image

Colombia en mapas, Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (26 junio 2023). <https://www.colombiaenmapas.gov.co>

Focos de incendio en cercanía al Complejo Nuclear Atucha, Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). [En línea]. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/arn/focos-de-incendio-en-cercania-al-complejo-nuclear-atucha>

IAEA Director General Statement on Situation in Ukraine, International Atomic Energy Agency (IAEA). [En línea]. Disponible en: <https://www.iaea.org/nuclear-safety-and-security-in-ukraine>

Mapa amenaza Volcán Nevado del Ruíz, Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www2.sgc.gov.co/sgc/volcanes/VolcanNevadoRuiz/Paginas/Mapa-amenaza.aspx>

Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), Servicio Geológico Colombiano (SGC). [En línea]. Disponible en: <https://simma.sgc.gov.co>, Accedido el: 26 junio 2023.

AUTOR, Zonas de exclusión para una central nuclear de potencia en Colombia. [En línea]. Disponible en: <https://planta-nuclear-colombia.onrender.com>, Accedido el: 26 junio 2023.

Zonas y distritos militares ejército nacional. [En línea]. Disponible en: <https://www.datos.gov.co/Seguridad-y-Defensa/ZONAS-Y-DISTRITOS-MILITARES-EJERCITO-NACIONAL/jpus-ug29>