

## ARTÍCULO DE OPINIÓN

# La Energía Nuclear en el Sector Eléctrico Colombiano: Una Alternativa Técnica y Sostenible

David-Andres Galeano 

Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

[dagalean@unal.edu.co](mailto:dagalean@unal.edu.co)

*Fecha recepción: octubre 1 de 2022*  
*Fecha aceptación: octubre 17 de 2022*

## Resumen

El paisaje energético colombiano enfrenta crecientes desafíos en su intento de equilibrar una demanda en aumento con la sostenibilidad y la estabilidad en el suministro. A pesar de las tradicionales dependencias de fuentes como la hidroeléctrica y las renovables emergentes como la solar y eólica, las vulnerabilidades y la intermitencia respectivamente, han impulsado la exploración de alternativas más robustas. Este artículo analiza la integración de la energía nuclear, en particular los Reactores Modulares Pequeños (SMRs) y microreactores, como una solución que no sólo ofrece una operación continua y desvinculada de las condiciones climáticas, sino que también se alinea con los objetivos de descarbonización global y sostenibilidad ambiental. A través de un profundo análisis técnico, regulatorio y social, se destaca cómo la energía nuclear puede fortalecer el Sistema Interconectado Nacional (SIN), descentralizar el suministro energético alcanzando regiones remotas, y posicionar a Colombia en la vanguardia de una transición energética responsable y sostenible.

**Palabras clave:** *Energía nuclear; Sostenibilidad; Microreactores; SMR; Transición energética.*

# Nuclear Energy in the Colombian Electrical Sector: A Technical and Sustainable Alternative

## Abstract

The Colombian energy landscape is grappling with growing challenges as it seeks to harmonize rising demand with sustainable and stable supply. Despite traditional reliance on sources such as hydroelectricity and newer renewables like solar and wind, their vulnerabilities and intermittency have prompted the search for more reliable alternatives. This article delves into the potential integration of nuclear energy, focusing on Small Modular Reactors (SMRs) and microreactors. These sources not only provide consistent operation independent of climatic conditions but also align with global decarbonization and environmental sustainability objectives. Through an in-depth technical, regulatory, and societal assessment, this article underscores how nuclear energy can bolster the National Interconnected System (SIN), diversify the energy supply to remote regions, and position Colombia at the vanguard of a responsible and sustainable energy transition.

**Keywords:** Nuclear energy; Sustainability; Microreactors; SMR; Energy transition.

# A Energia Nuclear no Setor Elétrico Colombiano: Uma Alternativa Técnica e Sustentável

## Resumo

A paisagem energética colombiana enfrenta crescentes desafios ao tentar harmonizar a demanda crescente com fornecimento sustentável e estável. Apesar da dependência tradicional de fontes como a hidroeletricidade e renováveis emergentes como solar e eólica, suas vulnerabilidades e intermitência têm motivado a busca por alternativas mais confiáveis. Este artigo explora a potencial integração da energia nuclear, focando nos Reatores Modulares Pequenos (RMPs) e micro-reatores. Estas fontes não apenas oferecem operação constante independente de condições climáticas, mas também se alinham com os objetivos globais de descarbonização e sustentabilidade ambiental. Através de uma avaliação técnica, regulatória e social aprofundada, este artigo destaca como a energia nuclear pode fortalecer o Sistema Interconectado Nacional (SIN), diversificar o fornecimento de energia para regiões remotas e posicionar a Colômbia na vanguarda de uma transição energética responsável e sustentável.

**Palavras-chave:** Energia nuclear; Sustentabilidade; Microrreatores; SMR; Transição energética.

## Introducción

El paisaje energético de Colombia se encuentra en una encrucijada. Mientras la demanda energética del país crece año tras año, impulsada por una población en aumento y un desarrollo económico sostenido, los desafíos para garantizar un suministro eléctrico estable y sostenible se magnifican [1]. Tradicionalmente, el país ha confiado en la energía hidroeléctrica para alimentar su red, una fuente que, aunque renovable, se ha mostrado vulnerable a los cambiantes patrones climáticos, como los provocados por el fenómeno de El Niño. Paralelamente, aunque las energías solar y eólica han ganado terreno como alternativas renovables, su naturaleza intermitente plantea interrogantes sobre su capacidad para ser la columna vertebral del sistema energético del país.

Frente a este panorama, emerge la necesidad de integrar fuentes de energía que combinen sostenibilidad medioambiental con una capacidad técnica robusta para entregar electricidad de forma constante y confiable. En este sentido, la energía nuclear se posiciona como una solución altamente viable. No sólo tiene el potencial de operar de manera continua, independientemente de las condiciones climáticas, sino que también representa una fuente de energía limpia, con emisiones mínimas de gases de efecto invernadero durante su operación.

La discusión sobre la incorporación de la energía nuclear en la matriz energética colombiana no es meramente teórica. Es una consideración estratégica, que se enmarca en un contexto global donde el cambio climático, la seguridad energética y la necesidad de diversificación son factores preponderantes. Sin embargo, adoptar la energía nuclear requiere una planificación meticulosa, una inversión significativa y un profundo análisis técnico, regulatorio y social.

Este artículo busca sumergirse en el potencial técnico y sostenible de la energía nuclear, analizando cómo puede ser integrada en el sector eléctrico colombiano para fortalecer el Sistema Interconectado Nacional (SIN) y contribuir a un futuro energético más resiliente, diversificado y sostenible para Colombia.

### Estabilidad y Confiabilidad en la Red Eléctrica

En la actualidad, uno de los principales desafíos del sector eléctrico es la integración eficiente y confiable de las fuentes de energía renovable, dada su naturaleza intermitente [2]. El sol y el

viento, aunque recursos abundantes y sostenibles, no garantizan una generación constante 24/7. Aquí es donde la tecnología de los pequeños reactores nucleares (SMRs, por sus siglas en inglés) puede desempeñar un papel crucial en el panorama energético colombiano.

Los SMRs son una nueva generación de reactores nucleares que, en comparación con sus homólogos más grandes tradicionalmente utilizados en plantas nucleares, ofrecen ventajas significativas en términos de escalabilidad, seguridad y flexibilidad operativa. Estos reactores se han diseñado para tener capacidades que varían entre 25 y 300 MWe, lo que los hace particularmente adecuados para regiones o redes donde la demanda no justifica la implementación de grandes instalaciones nucleares, o donde la integración de estas sería técnicamente desafiante [3].

Una de las características más notables de los SMRs es su capacidad para modular su potencia en respuesta a las fluctuaciones de la demanda eléctrica. Esto significa que pueden aumentar o disminuir su generación según las necesidades del SIN. Por ejemplo, en momentos del día en que la generación solar esté en su punto máximo y la eólica sea abundante, los SMRs pueden operar a una potencia reducida. Sin embargo, durante la noche, o en días nublados o sin viento, pueden incrementar su producción para garantizar que el suministro eléctrico no se vea afectado. Esta adaptabilidad no solo garantiza una red eléctrica estable, sino que también optimiza el uso de las fuentes renovables al máximo, reduciendo al mínimo la dependencia de combustibles fósiles para el respaldo.

Adicionalmente, los SMRs presentan beneficios en cuanto a costes y tiempos de construcción. Su diseño compacto y modular permite que muchos de sus componentes sean fabricados en serie y luego transportados al sitio de instalación, reduciendo los tiempos y costos asociados con la construcción tradicional de grandes plantas nucleares. Asimismo, los avances tecnológicos en el diseño de los SMRs han llevado a mejoras significativas en materia de seguridad. Muchos de estos reactores incorporan sistemas pasivos de seguridad que, en caso de una emergencia, permiten la refrigeración del reactor sin intervención humana ni energía externa [4].

Así, la incorporación de SMRs en el sistema energético colombiano podría actuar como un puente entre la sostenibilidad medioambiental y la confiabilidad técnica, garantizando que el país

cuenta con un suministro energético estable y resiliente en el futuro.

### **Microreactores y su Aplicabilidad en Zonas Aisladas**

El acceso equitativo a la energía eléctrica sigue siendo uno de los grandes desafíos para Colombia. Regiones como La Guajira y vastas áreas del Amazonas aún enfrentan dificultades para conectarse de manera efectiva y continua al Sistema Interconectado Nacional (SIN). Estas zonas, caracterizadas por su geografía compleja y dispersa, y a menudo alejadas de las principales infraestructuras de transmisión, requieren soluciones energéticas innovadoras que sean sostenibles, confiables y adaptadas a sus particularidades.

Aquí es donde los microreactores nucleares presentan un potencial revolucionario. Estos sistemas, más pequeños que los pequeños reactores modulares, están diseñados para generar entre 1 y 20 MWe. Aunque su capacidad es menor en comparación con las plantas nucleares convencionales, su tamaño compacto y diseño modular ofrecen ventajas clave para su implementación en zonas aisladas.

Una de las principales ventajas de los microreactores es su capacidad para operar de manera autónoma durante largos períodos, a menudo durante varios años, antes de requerir reabastecimiento de combustible. Esta característica los hace ideales para zonas donde las operaciones logísticas regulares serían complejas y costosas [5].

Además, más allá de la generación eléctrica, los microreactores pueden desempeñar un papel esencial en la provisión de servicios básicos. Por ejemplo, en lugares como La Guajira, donde el acceso al agua potable es un desafío significativo debido a la falta de fuentes de agua dulce y las condiciones áridas, los microreactores pueden ser utilizados para alimentar procesos de desalinización y potabilización [6]. Estos sistemas, utilizando el calor residual del reactor, pueden transformar agua salina o contaminada en agua potable, mejorando drásticamente las condiciones de vida y salud de las comunidades locales.

Asimismo, es fundamental destacar la seguridad inherente a los diseños modernos de microreactores. Estos incorporan sistemas pasivos de seguridad, que minimizan el riesgo de accidentes y reducen la necesidad de intervención humana en situaciones de emergencia. Esta

característica es esencial para su implementación en regiones aisladas, donde el acceso rápido a recursos de emergencia podría ser limitado.

En un contexto más amplio, la adopción de microreactores en Colombia puede ser un catalizador para el desarrollo sostenible en áreas remotas. No solo permitiría la electrificación de zonas previamente desconectadas, sino que también podría impulsar otras industrias, como la agricultura mediante sistemas de riego alimentados por desalinización, y mejorar la infraestructura de salud y educación al garantizar un suministro eléctrico confiable. La integración de microreactores en el paisaje energético colombiano representa una oportunidad única para abordar desafíos persistentes en zonas aisladas, proporcionando soluciones holísticas que van más allá de la simple generación eléctrica.

### **Descarbonización y Uso de Infraestructura Existente**

Colombia, como muchos países en desarrollo, ha enfrentado el desafío de equilibrar el crecimiento económico con la sostenibilidad ambiental. Aunque ha tenido un notable éxito en la promoción de fuentes de energía renovable, la dependencia histórica de centrales térmicas a carbón sigue siendo un obstáculo para cumplir con los compromisos internacionales de reducción de emisiones. Según el Ministerio de Minas y Energía, a pesar de las inversiones en energías limpias, el carbón sigue representando una porción significativa de la matriz energética del país [7].

Dentro de este contexto, la introducción de pequeños reactores modulares puede desempeñar un papel transformador en el sector eléctrico colombiano. Un aspecto crucial para considerar es la posibilidad de aprovechar la infraestructura existente de las plantas de carbón. Esto no sólo se refiere a las instalaciones físicas, sino también a la logística, las redes de transmisión y el personal capacitado que ya opera en estas plantas. Estas sinergias podrían significar una reducción en los costos iniciales y en los tiempos de implementación, haciendo de la transición a la energía nuclear una opción más atractiva desde una perspectiva financiera y de planificación [8].

Sin embargo, más allá de las consideraciones económicas, uno de los beneficios más significativos de los SMRs es su impacto en el proceso de descarbonización del sector eléctrico. Al ser fuentes de generación con cero emisiones directas de CO<sub>2</sub> durante su operación, los

SMRs pueden contribuir drásticamente a reducir la huella de carbono de la matriz energética colombiana. Según la Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA), la energía nuclear puede desempeñar un papel fundamental en la lucha global contra el cambio climático, ayudando a los países a alcanzar sus objetivos establecidos en los acuerdos ambientales internacionales [9].

Además, es esencial entender que la descarbonización del sector eléctrico es apenas un paso en el camino hacia una economía baja en carbono. Al garantizar un suministro eléctrico limpio y confiable, Colombia podría incentivar otros sectores, como el transporte y la industria, a adoptar soluciones eléctricas, acelerando aún más la transición hacia una economía sostenible.

Por último, cabe destacar que la adopción de SMRs y la transición hacia una matriz energética más limpia no sólo tendrían beneficios medioambientales. A medida que el mundo avanza hacia políticas más estrictas en materia de emisiones, aquellos países que lideren en la adopción de tecnologías limpias estarán mejor posicionados en el escenario internacional, tanto desde una perspectiva de comercio como de inversión.

Integrar SMRs en el sector eléctrico colombiano, aprovechando la infraestructura existente y acelerando el proceso de descarbonización, no sólo tiene sentido desde una perspectiva técnica y económica, sino que también es una decisión estratégica para el futuro sostenible y próspero de Colombia.

### Producción de Hidrógeno Rosado

La búsqueda de alternativas energéticas limpias y eficientes ha llevado a los investigadores y a la industria a explorar nuevas soluciones que trascienden la simple generación de electricidad. Una de estas soluciones es el hidrógeno rosado, producido a partir de la combinación de tecnología nuclear con procesos de electrolisis, resultando en la obtención de hidrógeno sin emisiones directas de CO<sub>2</sub>.

A nivel mundial, se está incrementando la atención hacia el hidrógeno como vector energético debido a sus múltiples aplicaciones y su carácter sostenible. Según la Agencia Internacional de Energía, el hidrógeno tiene el potencial de desempeñar un papel clave en la transición a un sistema energético más limpio y diversificado, con aplicaciones que abarcan desde la industria hasta el transporte [10].

En el contexto colombiano, la producción de hidrógeno rosado podría tener implicaciones significativas:

1. **Almacenamiento Energético:** Uno de los desafíos más grandes de las energías renovables es la variabilidad y la intermitencia. El hidrógeno rosado ofrece una solución para almacenar energía de manera eficiente, facilitando la integración de fuentes renovables al Sistema Interconectado Nacional (SIN).
2. **Transporte:** El hidrógeno puede ser utilizado como combustible en vehículos de pila de combustible, ofreciendo una alternativa limpia a los combustibles fósiles. Esto sería especialmente relevante para ciudades colombianas que enfrentan problemas de calidad del aire, como Bogotá y Medellín.
3. **Industria:** Más allá del sector eléctrico, el hidrógeno rosado puede desempeñar un papel crucial en sectores industriales como el químico, siderúrgico y de refinación, donde el hidrógeno es un insumo vital.
4. **Reducción de Emisiones:** A medida que Colombia busca cumplir con sus compromisos internacionales en materia de cambio climático, la producción de hidrógeno sin emisiones contribuirá significativamente a la reducción de gases de efecto invernadero.
5. **Desarrollo Tecnológico:** La inversión en la producción de hidrógeno rosado puede posicionarse como un motor de innovación, generando capacidades técnicas y científicas en el país, y abriendo puertas a colaboraciones internacionales en materia de investigación y desarrollo.

La implementación de la producción de hidrógeno rosado, sin embargo, no está exenta de desafíos. Se requiere una infraestructura adecuada, capacitación, regulaciones claras y mecanismos de financiamiento. A pesar de estos obstáculos, dada la creciente demanda global de hidrógeno y la urgente necesidad de diversificar y limpiar la matriz energética, Colombia tiene una oportunidad única para liderar en esta área, aprovechando la combinación de energía nuclear y tecnologías de electrolisis para crear un futuro energético más sostenible y resiliente.

## Lecciones Aprendidas y Seguridad Nuclear

En la discusión sobre la implementación de la energía nuclear, la seguridad se posiciona en el centro del debate. Es indispensable que, al considerar esta fuente de energía, Colombia mire hacia las experiencias y aprendizajes de la comunidad internacional para garantizar una operación segura y transparente de sus instalaciones nucleares.

- **Estándares Internacionales:** La Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA) ha desarrollado una serie de normas y directrices que sirven como referencia para los países que operan o buscan operar tecnologías nucleares [11]. Adoptar estos estándares no sólo garantiza un nivel elevado de seguridad, sino que también fortalece la confianza pública en el sector nuclear.
- **Eventos Históricos:** Las tragedias de Fukushima en 2011 y Chernobyl en 1986 han dejado lecciones valiosas. La comunidad internacional ha realizado extensos estudios post-accidente para comprender las causas y consecuencias, resultando en mejoras significativas en el diseño, operación y regulación de las instalaciones nucleares. Los modernos reactores, por ejemplo, incorporan sistemas pasivos de seguridad que funcionan sin intervención humana o eléctrica, reduciendo la posibilidad de fallos.
- **Capacitación y Cultura de Seguridad:** Más allá de la tecnología, es esencial cultivar una cultura de seguridad en todas las operaciones nucleares. Esto implica una formación constante de personal, un enfoque en la responsabilidad y la rendición de cuentas, y un compromiso inquebrantable con la mejora continua.
- **Cooperación Internacional:** Al unirse a la comunidad nuclear, Colombia puede beneficiarse de la cooperación técnica, científica y regulatoria con países con experiencia en el sector. Estas colaboraciones pueden ayudar al país a desarrollar y mantener las mejores prácticas en materia de seguridad y regulación nuclear.
- **Comunicación Transparente:** Para generar confianza en la población, es esencial que se establezcan canales de comunicación claros y transparentes acerca de las operaciones nucleares, los protocolos de seguridad y las medidas de respuesta en caso de emergencias.

La población debe estar informada y confiar en que la seguridad es la máxima prioridad.

- **Inversiones en Tecnología:** Además de adoptar estándares internacionales, es vital que Colombia invierta en las tecnologías nucleares más avanzadas y seguras. Con el rápido avance de la tecnología nuclear, surgen continuamente innovaciones que optimizan la eficiencia y seguridad de los reactores.

La energía nuclear, con su potencial para fortalecer el sistema eléctrico colombiano, debe ser abordada con un compromiso inquebrantable con la seguridad. Con una planificación meticulosa, un aprendizaje constante de las experiencias internacionales y una inversión en la capacitación y tecnología adecuadas, Colombia puede garantizar un futuro nuclear que sea tanto potente como responsable.

## Avances Normativos y Proyecciones

La integración de la energía nuclear en la matriz energética colombiana no es un tema que se aborde con ligereza. El país ha avanzado meticulosamente, poniendo en marcha mecanismos normativos y estratégicos para sentar las bases de un futuro más diversificado y resiliente en términos de producción de energía.

1. **Documentos Estratégicos:** Los documentos como el CONPES 4075 de 2022 [12] y el Plan Energético Nacional (PEN) 2022-2052 [13] son fundamentales en este proceso. No sólo sirven como una brújula para orientar las políticas públicas, sino que también reflejan el compromiso de Colombia con la adopción de tecnologías avanzadas y sostenibles:
  - a. **CONPES 4075 de 2022:** Este documento, elaborado por el Consejo Nacional de Política Económica y Social, sirve como una hoja de ruta detallada, proponiendo estudios técnicos y de viabilidad, y delineando las áreas de investigación necesarias para evaluar el potencial y los desafíos de la energía nuclear en Colombia.
  - b. **PEN 2022-2052:** El Plan Energético Nacional traza la visión a largo plazo del país en materia de energía. Al proyectar la adopción de la energía nuclear hacia 2038, este plan refuerza la ambición del país de diversificar su matriz energética, reducir la dependencia de fuentes

- vulnerables y enfrentar los desafíos del cambio climático con soluciones robustas.
2. **Regulación y Seguridad:** Aparte de la planificación estratégica, es esencial establecer un marco regulatorio robusto que garantice la seguridad, la transparencia y la responsabilidad en todas las operaciones nucleares. Se prevé la creación de una entidad regulatoria especializada y la adhesión a acuerdos internacionales sobre seguridad nuclear.
  3. **Participación de Stakeholders:** La planificación normativa también involucra una consulta amplia con diferentes partes interesadas, incluyendo expertos en el sector, la sociedad civil, y organismos internacionales. Esto garantiza que las decisiones tomadas sean bien informadas y reflejen un consenso nacional.
  4. **Proyecciones Económicas:** A nivel económico, la inversión en energía nuclear puede generar empleo, impulsar la investigación y desarrollo y posicionar a Colombia como líder regional en innovación energética. Los análisis coste-beneficio serán cruciales para determinar la viabilidad financiera y las potenciales ventajas económicas de esta iniciativa.
  5. **Educación y Capacitación:** La proyección a largo plazo también enfatiza la necesidad de invertir en la formación de profesionales altamente capacitados en el campo nuclear. Universidades y centros de investigación tendrán un papel vital en este esfuerzo.

Colombia, al trazar esta ruta normativa y estratégica, no sólo está considerando las implicaciones técnicas de la energía nuclear, sino también su impacto en la sociedad, la economía y el medio ambiente. Es un testimonio del compromiso del país con un futuro energético más sostenible, diversificado y resiliente. Para el sector eléctrico colombiano, la energía nuclear ofrece soluciones técnicamente robustas y sostenibles. Es esencial que los stakeholders pertinentes participen en un debate transparente y fundamentado técnicamente sobre su adopción, garantizando una transición energética coherente y sostenible para el país.

## Conclusiones

El panorama energético colombiano, en constante evolución y desafío, se encuentra en una

encrucijada que demanda soluciones innovadoras y robustas. Aquí se ha abordado la energía nuclear, específicamente los SMRs y microreactores, como una propuesta que amalgama preocupaciones técnicas y ambientales en el sector eléctrico colombiano, y el análisis arroja múltiples conclusiones relevantes.

Primero, la necesidad de una red eléctrica estable y confiable en Colombia es imperativa dada la creciente demanda y las vulnerabilidades existentes, especialmente con fuentes tradicionales como la hidroeléctrica. En este escenario, los SMRs emergen no sólo como una tecnología de vanguardia, sino también como una solución viable que tiene el potencial de operar de manera continua. Esta capacidad de operación ininterrumpida, combinada con la sostenibilidad medioambiental, resalta la pertinencia de considerar la nuclearidad como un complemento, si no una alternativa, a las fuentes energéticas actuales.

Por otro lado, la aplicación de microreactores lleva el potencial de la energía nuclear más allá de las grandes urbes y centros industriales, alcanzando zonas remotas de Colombia. Esta descentralización energética podría ser una verdadera revolución en la forma en que se abordan las desigualdades regionales. La posibilidad de electrificar zonas previamente desconectadas y, al mismo tiempo, impulsar sectores económicos como la agricultura, la salud y la educación, configura a los microreactores como herramientas transformadoras que no sólo generan energía, sino que también pueden catalizar el desarrollo sostenible.

En el contexto de un mundo cada vez más consciente de los efectos del cambio climático, la descarbonización se ha convertido en una prioridad para muchos países, y Colombia no es la excepción. Al aprovechar la infraestructura existente y acelerar la descarbonización con la ayuda de SMRs, Colombia no sólo estaría tomando decisiones inteligentes desde una perspectiva técnica y económica, sino también posicionándose en la vanguardia de las naciones comprometidas con un futuro sostenible.

La producción de hidrógeno rosado se identifica como otra faceta prometedora de la energía nuclear. A pesar de los desafíos asociados en términos de infraestructura, capacitación y regulación, la potencial recompensa en forma de una matriz energética más limpia y diversificada es considerable. La combinación de energía nuclear

con tecnologías de electrolisis puede permitir a Colombia no sólo satisfacer su demanda interna, sino también posicionarse como líder en un mercado energético emergente.

No obstante, todas estas oportunidades vienen con una responsabilidad inherente. La seguridad nuclear es un compromiso que debe ser primordial en cualquier discusión o implementación relacionada con la energía nuclear. El aprendizaje constante de experiencias internacionales, junto con inversiones adecuadas en capacitación y tecnología, son fundamentales para asegurar un desarrollo nuclear seguro.

En términos normativos, es alentador observar que Colombia está tomando un enfoque holístico, considerando no sólo aspectos técnicos sino también implicaciones sociales, económicas y medioambientales. Este enfoque multidimensional refleja una visión progresista que busca garantizar una transición energética beneficiosa a largo plazo.

## Referencias

- [1] UPME - Subdirección de Demanda. Proyección de Demanda de Energéticos. Bogotá, Colombia; 2022.
- [2] Chen C, Yang Z, Hu G. Signalling the cost of intermittency: What is the value of curtailed renewable power?. *Journal of Cleaner Production*. 2021;302:26998. doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126998
- [3] Lloyd CA, Roulstone T, Lyons RE. Transport, constructability, and economic advantages of SMR modularization. *Progress in Nuclear Energy*. 2021;134:103672. doi.org/10.1016/j.pnucene.2021.103672
- [4] Lloyd CA. Modular manufacture and construction of small nuclear power generation systems, Cambridge, England: University of Cambridge; 2020.
- [5] Black G, Shropshire D, Araújo K, van Heek A. Prospects for Nuclear Microreactors: A Review of the Technology, Economics, and Regulatory Considerations. *Nuclear Technology*. 2022;209(sup1):S1-S20, 2023. doi.org/10.1080/00295450.2022.2118626
- [6] Zohuri B. Nuclear micro reactors. Springer International Publishing; 2020.
- [7] Ministerio de Minas y Energía. Diagnóstico base para la transición energética justa. Bogotá, Colombia; 2023.
- [8] Department of Energy. Investigating Benefits and Challenges of Converting Retiring Coal Plants into Nuclear Plants. United States of America: Government of United States; 2022.
- [9] International Atomic Energy Agency (IAEA). Climate Change and Nuclear Power 2022. Viena, Austria; 2022.
- [10] International Energy Agency (IEA). Hydrogen. 10 07 2023. [Internet]. Disponible en: <https://www.iea.org/energy-system/low-emission-fuels/hydrogen>. Acceso el 1 de octubre 2023.
- [11] International Atomic Energy Agency (IAEA). Safety standards. [Internet]. Disponible en: <https://www.iaea.org/resources/safety-standards>. Acceso el 1 de octubre 2023.
- [12] Departamento Nacional de Planeación (DNP). CONPES 4075. Bogotá, Colombia; 2022.
- [13] Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). Plan Energético Nacional (PEN) 2022-2052. Bogotá, Colombia; 2023.