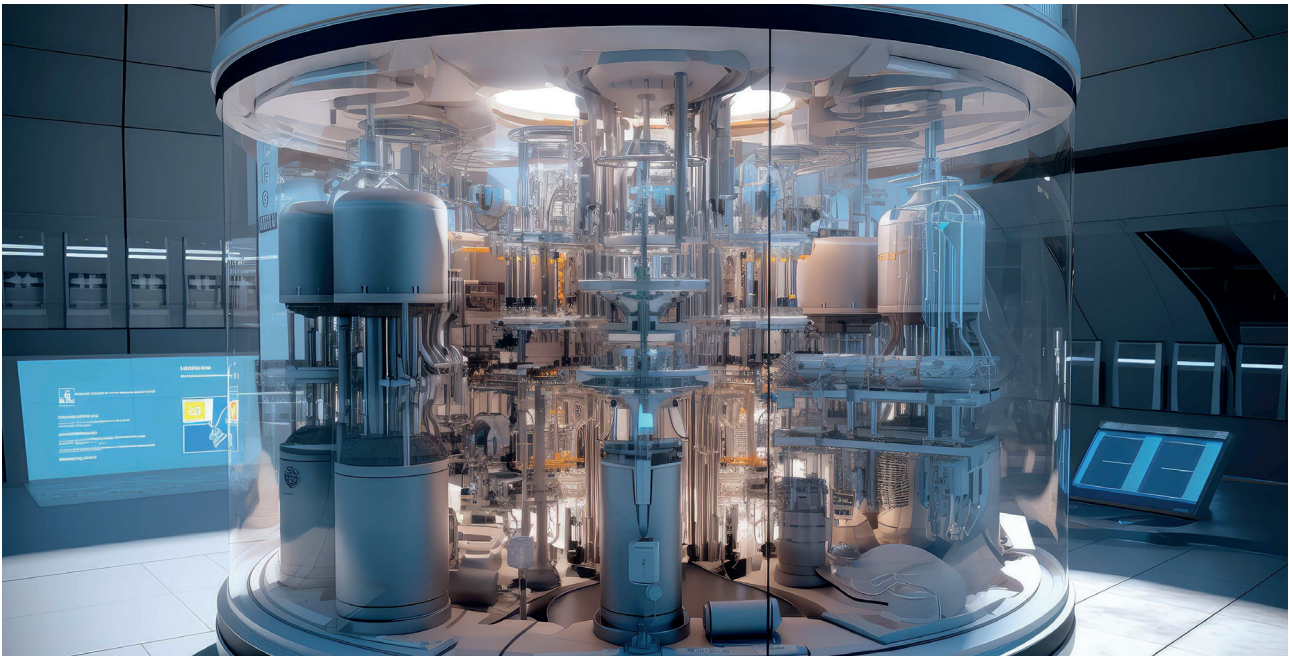


# Reactores modulares pequeños (SMR) a nivel mundial y su pertinencia para la región Caribe

POR: FABIÁN COLL, CHRISTIAN GONZÁLEZ Y CARLOS A. CÁRDENAS\*



La región Caribe de Colombia enfrenta desafíos energéticos significativos. Actualmente, depende en gran medida del sistema interconectado nacional (SIN) incluyendo varias plantas térmicas ubicadas en la región para satisfacer su demanda energética. Esta dependencia aumenta por el fenómeno del ‘Niño’, que reduce las precipitaciones y afecta la capacidad de generación hidroeléctrica, resultando en una variabilidad incontrolable de los precios de la energía.

Este contexto resalta la necesidad de diversificar la matriz energética y considerar alternativas más estables y sostenibles, como los Reactores Modulares

Pequeños (SMR, por sus siglas en inglés). El desarrollo de los SMR es una solución prometedora en el campo de la energía nuclear, con capacidades menores a 300 MW por unidad, ofrecen flexibilidad y menor tiempo de construcción.

Este artículo plantea un breve estado del arte de los SMR a nivel mundial, y explora la pertinencia de implementar esta tecnología en la región Caribe de Colombia, teniendo en cuenta su actual dependencia hidrotérmica, así como la influencia del fenómeno del ‘Niño’ en los precios de la energía. De igual forma, se presentan algunos aspectos técnicos debido a la intermitencia de las energías solar y eólica.

## Plan Energético Nacional (PEN) 2022-2052

Es importante mencionar que el nuevo Plan Energético Nacional (PEN) 2022-2052 de Colombia, se enfoca en la diversificación de la matriz energética, la sostenibilidad ambiental y la integración de nuevas tecnologías, para asegurar un suministro de energía confiable y asequible. Dentro de este se destaca la inclusión de los SMR como una tecnología clave para alcanzar estos objetivos.

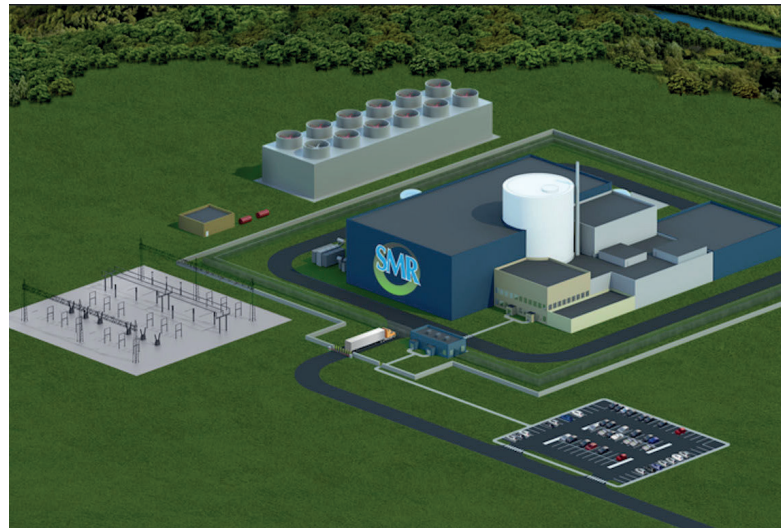
La incorporación de SMR en la estrategia energética nacional puede contribuir a una mayor resiliencia del sistema eléctrico, frente a fenómenos climáticos extremos, como el fenómeno ‘El Niño’ y apoyar la transición hacia una matriz energética más diversificada.

*“ En 2021, el Ministerio de Minas y Energía anunció estudios preliminares para evaluar la adopción de SMR, destacando su potencial para mejorar la seguridad energética ”*

La inclusión de esta tecnología en el PEN, subraya el compromiso de Colombia con la innovación tecnológica y la reducción de la dependencia de fuentes de energía fósiles, alineándose con las metas de sostenibilidad y desarrollo económico del país.

### Estado del arte de los SMR a nivel mundial

Los SMR han ganado atención mundial debido a su diseño compacto y modular, que permite una construcción más rápida y escalable. Países como Estados Unidos, Canadá, China, Rusia, Argentina, Brasil y Corea del Sur están a la vanguardia en la investigación y desarrollo de esta tecnología.



SMR en Estados Unidos

- **Estados Unidos:** el diseño de SMR más avanzado en este país, tiene una capacidad de 60 MW por unidad. Este reactor se distingue por su sistema de enfriamiento pasivo que no requiere energía externa para funcionar, mejorando significativamente su seguridad operacional. La Comisión Reguladora Nuclear (NRC) de Estados Unidos aprobó su diseño en 2020, marcando un hito importante en la adopción de esta tecnología.
- **Canadá:** está realizando varios proyectos de SMR, destacando el reactor de 300 MW, que utiliza uranio como combustible y agua ligera como moderador y refrigerante. Este diseño también incorpora sistemas de seguridad pasiva y está diseñado para ser construido en módulos, lo que permite una instalación más rápida y flexible. El gobierno canadiense ha lanzado una estrategia nacional para SMR, apoyando la investigación y el desarrollo en colaboración con empresas privadas y centros de investigación.
- **China:** ha avanzado significativamente con su reactor ACP100, también conocido como Linglong One. Este SMR tiene una capacidad de 125 MW y está diseñado para aplicaciones de electricidad, calefacción, agua potable y otras utilidades. El ACP100 utiliza un diseño modular que permite su construcción en un período más corto.

La Corporación Nacional Nuclear de China (CNNC) está liderando este proyecto, y la construcción del primer ACP100 comenzó en 2021.

- **Rusia:** ha implementado SMR en sus regiones más remotas, con el reactor KLT-40S que tiene una capacidad de 35 MW. Este reactor se ha desplegado en la planta nuclear flotante Akademik Lomonosov, que proporciona energía a áreas aisladas del Ártico ruso. El diseño del KLT-40S es una adaptación de los reactores utilizados en los rompehielos nucleares de Rusia, y está diseñado para operar en condiciones extremas.



- **Argentina:** trabajó en el CAREM (Central Argentina de Elementos Modulares), un SMR con una capacidad de 25 MW en su primera fase y 100 MW en futuras versiones. El CAREM es un diseño de reactor de agua a presión que incorpora sistemas de seguridad pasiva y es totalmente construido con tecnología local. La fabricación del primer prototipo comenzó en 2014 y está destinada a proporcionar energía a áreas aisladas y apoyar la diversificación de la matriz energética argentina.

- **Brasil:** Investiga SMR con la ayuda de sus capacidades nucleares existentes. El país está explorando el uso de estos reactores para complementar su matriz energética, especialmente en regiones remotas del Amazonas, donde el acceso a fuentes de energía estable, es limitado. Brasil ha centrado su desarrollo en el reactor multipropósito RMB, que también servirá para la producción de radioisótopos para usos médicos e industriales.

*“ La implementación de SMR podría proporcionar una fuente estable y segura de energía, mitigando la dependencia de las condiciones climáticas y reduciendo la volatilidad de los precios ”*

- **Corea del Sur:** ha construido el SMART (Sistema Modular Avanzado de Reactor Integrado), un SMR con una capacidad de 100 MW. SMART está diseñado para ser seguro, económico y adaptable a diversas aplicaciones, incluyendo la generación de electricidad y la desalinización de agua. En 2019, Corea del Sur firmó un acuerdo con Arabia Saudita para construir un SMART en ese país, marcando un hito en la exportación de tecnología de SMR.
- **Colombia:** nuestro país ha mostrado interés en los SMR como parte de su estrategia para diversificar la matriz energética. Aunque no tiene proyectos avanzados de construcción, ha comenzado a explorar la viabilidad de integrar esta tecnología. En 2021, el Ministerio de Minas y Energía anunció estudios preliminares para evaluar la adopción de SMR, destacando su potencial para mejorar la seguridad energética y reducir las emisiones de carbono.

## Ventajas de los SMR

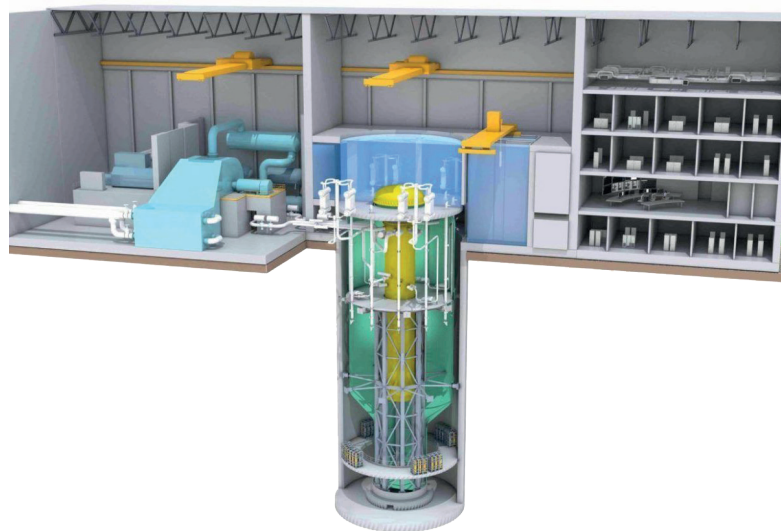
- ✓ **Seguridad mejorada:** están diseñados con sistemas de seguridad pasiva que reducen el riesgo de accidentes nucleares.
- ✓ **Flexibilidad operacional:** permiten una mayor flexibilidad en la generación de energía, permitiendo así ser instalados en lugares remotos y adaptándose a diferentes demandas energéticas.
- ✓ **Costos reducidos:** menores costos de construcción y operación, comparados con los reactores nucleares tradicionales.
- ✓ **Desarrollo modular:** este tipo de construcción permite un despliegue escalonado y una integración más rápida en la red energética existente.

## Pertinencia de los SMR en la Región Caribe de Colombia

La región Caribe de Colombia presenta un panorama energético particular, con una dependencia significativa de la hidroeléctrica Urrá y varias plantas térmicas. Esta estructura energética se ve frecuentemente afectada por el fenómeno del 'Niño', que reduce las precipitaciones y por ende, la capacidad de generación hidroeléctrica, elevando los precios de la energía.

## Desafíos actuales

- **Dependencia hidroeléctrica:** La dependencia de la hidroeléctrica Urrá, representa un riesgo significativo durante períodos de sequía, asociados al fenómeno del 'Niño'.
- **Plantas térmicas:** aunque las plantas térmicas proveen una fuente de energía estable, su operación es costosa y puede generar impactos ambientales.
- **Intermitencia de energías renovables:** La región Caribe tiene un gran potencial para la generación de energía solar y eólica. Sin embargo,



la intermitencia de estas fuentes, representa un desafío para la estabilidad de la red.

## Potencial de los SMR en la Región Caribe

- **Estabilidad y seguridad energética:** La implementación de SMR podría proporcionar una fuente estable y segura de energía, mitigando la dependencia de las condiciones climáticas y reduciendo la volatilidad de los precios.
- **Complemento a Energías Renovables:** Los SMR pueden complementar la generación de energía renovable, proporcionando una base estable que compense la intermitencia de la solar y eólica.
- **Reducción de Emisiones:** La energía nuclear es una fuente de energía limpia, y su uso podría reducir significativamente las emisiones de CO<sub>2</sub> de la región.

## Análisis técnico y económico

### Viabilidad técnica

La viabilidad técnica de los SMR en la región Caribe depende de varios factores:

- ✓ **Infraestructura:** la infraestructura existente debe ser evaluada y posiblemente adaptada para integrar los SMR.

- ✓ **Capacitación:** es esencial capacitar a los técnicos y profesionales locales en la operación y mantenimiento de los SMR.
- ✓ **Regulación:** el marco regulatorio colombiano deberá adaptarse para incluir la operación de SMR, garantizando la seguridad y el cumplimiento de estándares internacionales.

## Viabilidad económica

La viabilidad económica de los SMR se puede analizar desde diferentes perspectivas:

- ✓ **Inversión inicial:** aunque los SMR tienen menores costos iniciales que los reactores convencionales, la inversión sigue siendo significativa. Se requeriría financiamiento adecuado y posiblemente asociaciones público-privadas.
- ✓ **Costo de operación:** los costos de operación de los SMR son competitivos, en comparación con las plantas térmicas y su eficiencia energética puede resultar en ahorros a largo plazo.
- ✓ **Impacto en precios de energía:** la incorporación de SMR podría estabilizar los precios de la energía en la región, especialmente durante los períodos afectados por el fenómeno del ‘Niño’.

## Desventajas de la intermitencia de energías solar y eólica

### Naturaleza intermitente

La energía solar y eólica, aunque renovables y sostenibles, presentan desafíos debido a su naturaleza intermitente. La generación de energía no es constante y depende de factores climáticos, lo que puede provocar variaciones significativas en la producción diaria y estacional.

## Soluciones para la intermitencia

- **Almacenamiento de energía:** La implementación de sistemas de almacenamiento de energía, como baterías de gran capacidad, puede ayudar a mitigar la intermitencia, almacenando el exceso de energía generado durante períodos de alta producción.
- **Red inteligente:** Las redes inteligentes pueden gestionar mejor la distribución de energía, equilibrando la oferta y la demanda en tiempo real.
- **Complemento con SMR:** los SMR pueden actuar como una fuente de energía de respaldo, proporcionando estabilidad y asegurando un suministro constante cuando la producción de energía solar y eólica disminuye.

“ Los SMR podrían estabilizar los precios de la energía en la región, especialmente durante los períodos afectados por el fenómeno del ‘Niño’ ”

En conclusión, los SMR representan una oportunidad estratégica para diversificar y fortalecer la matriz energética de la región Caribe de Colombia, alineándose con las tendencias globales hacia una energía más limpia y sostenible, además de ser una solución viable para mejorar la estabilidad y seguridad energética.

Los SMR ofrecen una alternativa prometedora para complementar la generación hidroeléctrica y térmica, mitigando los efectos del fenómeno del ‘Niño’ y reduciendo la intermitencia de las energías renovables. Sin embargo, la implementación exitosa de esta tecnología requerirá una evaluación cuidadosa de la viabilidad técnica y económica, así como la adaptación del marco regulatorio y la capacitación de personal especializado. ▲

\* Fabián Coll, Christian González y Carlos A. Cárdenas. Integrantes Comisión de Energía ACIEM Capítulo Atlántico.