

Reactores nucleares modulares (SMR) para uso militar. Estado actual

**NATIVIDAD CARPINTERO
SANTAMARÍA**
*Profesora titular
del Departamento de Ingeniería
Energética - ETSII*

Desde el principio de su desarrollo en los años sesenta, se vio que los reactores nucleares modulares (Small Modular Reactors, SMR) podían suministrar energía eléctrica de forma móvil, rápida, autónoma y segura, pudiendo integrarse en cualquier tipo de logística militar tanto a nivel táctico como estratégico. El artículo analiza sus orígenes y el estado actual de su desarrollo.

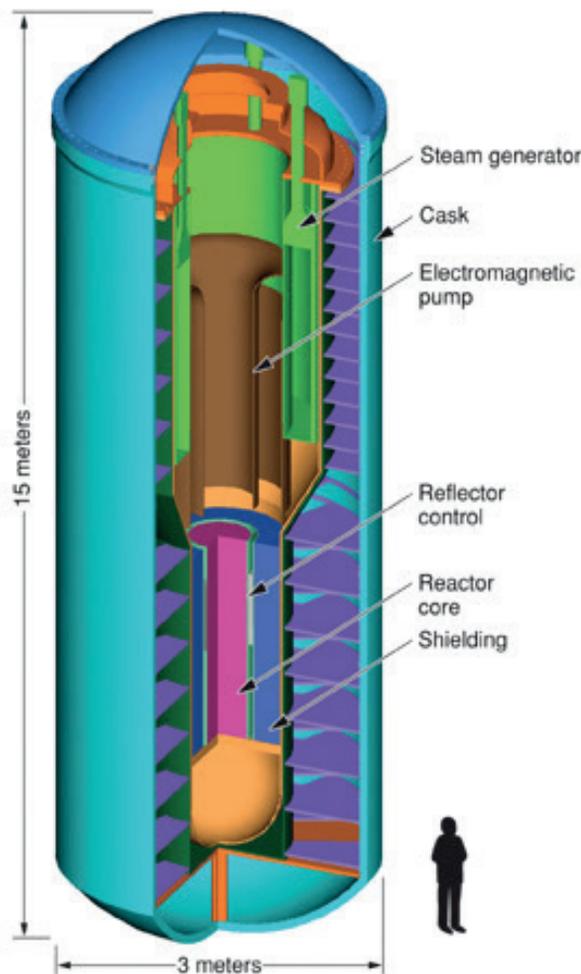
El suministro de energía en el campo militar en instalaciones; operaciones de radar y comunicación terrestre y satelital; teatros de operaciones convencionales y remotos; sistemas de armas y áreas de desarrollo de las mismas; transporte por tierra, mar y aire, etc, es un factor de supervivencia.

El petróleo como producto estratégico y comercial fue crucial antes de la Primera Guerra Mundial pues los gobiernos vieron la necesidad de modernizar su flota, equipada

hasta entonces con calderas de carbón, a embarcaciones propulsadas con motores diésel. Habían surgido innovaciones en el transporte como submarinos, aviones y transporte motorizado que requerían el uso del petróleo. Las flotas vieron inmediatamente las grandes ventajas que este tenía frente a las calderas de carbón. Los motores diésel generaban mayor velocidad y el reabastecimiento en alta mar era más sencillo, lo que ampliaba considerablemente el radio de acción de los barcos.

En la década de los años 20, sus propios recursos, junto con los obtenidos en campos de petróleo de Iberoamérica, hicieron de los Estados Unidos uno de los mayores productores y consumidores de crudo y de los emergentes productos petroquímicos. Desde 1930, Estados Unidos suministraba a Japón casi el 80% del petróleo que este país consumía, un cuarto del cual iba destinado al mantenimiento de la Armada Imperial. Sin embargo, en julio de 1941 el gobierno norteamericano decretó





Esquema de un reactor de sal fundida (Salt Molten Reactor) pequeño, transportable y autónomo. Cortesía de S&TR publicación del Lawrence Livermore National Laboratory. Disponible en: <http://www.llnl.gov/str/JulAug04/Smith.html>
Imagen: wikimedia.org

un embargo de crudo a Japón como respuesta a la ocupación japonesa del norte de Indochina, congelando sus activos en el mercado estadounidense. Las tensiones políticas, unidas a alianzas secretas y expansionismo económico hicieron de toda esta cuestión un *casus belli* que culminó el 7 de diciembre de 1941 cuando aviones de la Fuerza Aérea nipona bombardearon la base norteamericana de Pearl Harbor. La destrucción de Pearl Harbor abrió al Gobierno nipón una ruta sin obstáculos para alcanzar los campos de petróleo de Borneo, Celebez, Moluccas, Sumatra, Java, Malacca y Nueva Guínea Papua

que por entonces eran el cuarto exportador de petróleo del mundo bajo las llamadas Indias holandesas orientales.

La Guerra Fría contempló episodios de máxima tensión cuando en 1973 la crisis del petróleo convulsionó las economías mundiales. Los países miembros de la OPEP detuvieron las exportaciones de crudo a los Estados Unidos como respuesta a la ayuda militar de la Administración norteamericana a Israel en la guerra del Yom Kippur en octubre de 1973. A estas razones de carácter político, había que añadir las de carácter económico derivadas de la suspensión

del sistema Bretton Woods cabando-ro del patrón que provocó una estancación afectando a países de la OPEP, que vieron la depreciación de sus petrodólares. El histórico embargo de petróleo de 1973 provocó en una situación económica devastadora a nivel internacional, situación que hizo ver a los países la necesidad de diversificar sus fuentes de energía. Es a partir de este periodo cuando, o bien adquieren madurez, o bien se ponen en marcha numerosos programas de desarrollo de energía nuclear.

REACTORES MODULARES PEQUEÑOS (SMR)

Desde el punto de vista de suministro, una de las ventajas del uso de energía nuclear con respecto al petróleo, aparte de no emitir CO₂ durante su operación y tener unos valores de emisión de los más bajos en el ciclo completo de vida (entre 5,1 y 6,4 gramos de CO₂ por kilovatio hora), es que supone una reducción significativa de suministro de combustible líquido, lo que significa minimizar infraestructuras y logística de almacenamiento y reducir gastos y riesgos asociados a su transporte que se realiza a través de fronteras terrestres internacionales, mares, océanos, estrechos, etc. Otra consideración importante es que el combustible nuclear tiene una duración de tiempo entre 10 y 20 años desde una primera carga inicial, requiriendo mínimamente la interacción humana para el reabastecimiento.

Los reactores modulares pequeños (SMR) son, como su nombre indica, reactores nucleares avanzados que pueden fabricarse por partes y luego transportarse por tierra, mar o aire al lugar que se haya establecido para su ubicación, pudiendo emplazarse lejos de grandes redes de transporte de electricidad. Los SMR pueden desarrollar una potencia de hasta 300 MWe, que sería aproximadamente un tercio de la potencia de los reactores nucleares convencionales.



El reactor ML-1 montado sobre un camión en la Estación Nacional de Pruebas de Idaho.
Imagen: wikimedia.org

Comparados con los reactores nucleares convencionales, los SMR destacan por las características de su diseño simplificado y estar equipados de sistemas de autopresurización y de seguridad intrínsecos. Estos nuevos sistemas dependen de fenómenos físicos, tales como la circulación del refrigerante por gravedad, o la transmisión de calor por convección que permite que el sistema de refrigeración no dependa de alimentación exterior. Otra de las ventajas de los SMR es que algunos están diseñados para funcionar durante prácticamente treinta años sin necesidad de recargar el combustible. Asimismo, estos SMS podrían combinarse con energías renovables, lo que haría que su rendimiento fuera mayor dentro de un sistema energético híbrido, que aportaría mayor seguridad al suministro eléctrico, al ser las energías renovables, como la eólica y solar, fuentes estocásticas que dependen de la climatología y de la hora del día.

DESARROLLO INICIAL DE LOS SMR PARA USO MILITAR

A principio de los años sesenta, los Estados Unidos y la Unión Soviética comenzaron a desarrollar en colabo-

ración centrales térmicas de uranio (comúnmente llamadas centrales nucleares) móviles (Mobile Nuclear Reactor Power Plants, MNRPs) que estaban provistas con pequeños re-

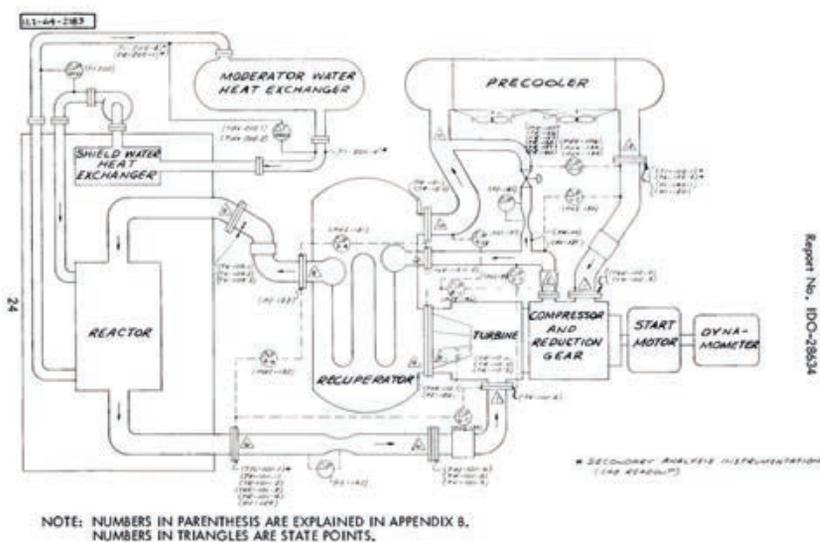


FIGURE 9. ANALYSIS INSTRUMENTATION SENSOR LOCATIONS ML-1

Esquema del diseño del SMR ML-1. <https://en.wikipedia.org/wiki/ML-1#/media/File:ML1diagram.png>. Source http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?query_id=0&page=4&osti_id



Maqueta de una central nuclear móvil en el Museo Politécnico Estatal de Moscú.
Imagen: [wikimedia.org](https://www.wikimedia.org)



Maqueta del SMR TOPAZ. Museo Tecnológico de Moscú.
Imagen: [wikimedia.org](https://www.wikimedia.org)

actores nucleares. El objetivo fundamental era integrarlos en los nuevos programas de desarrollo de energía nuclear como sistemas de energía eléctrica autónomos, que actuaran para suministrar electricidad en caso de emergencia en zonas de desastre, hospitales y lugares que, debido a su lejanía, no tenían suministro eléctrico.

Desde el primer momento se vio que los SMR podían cumplir con funciones logísticas fundamentales para el Ejército. La Segunda Guerra Mundial había puesto de manifiesto las dificultades inherentes al suministro eléctrico en los escenarios bélicos y hospitales de campaña, donde se utilizaron básicamente instalaciones diésel, lo que entrañaba el transporte en convoyes con enormes equipos pesados que no podían moverse una vez instalados y que ofrecían gran vulnerabilidad a los ataques del adversario.

El ML-1 norteamericano y el TES-3 soviético fueron el principio de reactores nucleares modulares a incluir en programas futuros. Las características eran comunes, en cuanto a que podían desplazarse en todo tipo de transportador: barcos, aviones, trenes y camiones, por terrenos abruptos que no permiten el uso de sistemas de suministro eléctrico convencionales. Una vez instalada la planta era totalmente operativa unas doce horas después. El ML-1, provisto de un reactor refrigera-

do por gas (GCRE), se incluyó en el US Army Nuclear Power Program y podía generar energía equivalente a la combustión de millón y medio de litros de gasolina. No obstante, y dadas los problemas de tipo mecánico que surgieron inicialmente en la refrigeración, lecturas erróneas de sensores y otros, el programa fue cerrado en 1965.

Por su parte, la Unión Soviética necesitaba para sus bases militares en el Círculo Polar Ártico y el lejano oriente ruso, millones de toneladas de combustible al año. En 1961 comenzó el desarrollo del SMR TES-3 que se construyó sobre un carro de combate

pesado T-10 al que modificaron su diseño, añadiéndole tres ruedas más de las siete que tenía inicialmente.

El TES-3 continuó operando hasta 1965, quedando suspendido el proyecto en 1969. Al TES-3 le siguieron los VK-50 y otros. En los años setenta la URSS desarrolló los Sever-2 y el Volnolom-3 y en la década de los ochenta el Pamir-630D, montado sobre el tractor MAZ-79 capaz de atravesar tundra y pantanos a temperaturas extremas.

En la década de los ochenta, la Unión Soviética había desarrollado tecnologías espaciales avanzadas.



Prototipo de reactor nuclear Kilopower de 1 kW para uso en superficies espaciales y planetarias.
Imagen: [wikimedia.org](https://www.wikimedia.org)

Los ingenieros aeronáuticos, pioneros en aviación y en la tecnología espacial, Sergei P. Korolev y Andrei N. Tupolev desde su condena en campos de trabajo forzados del GULAG soviético, escribieron páginas universales en la historia de la ingeniería. En 1987 y 1988 la URSS lanzó por primera vez el Thermionic Experiment with Conversion in Active Zone (TOPAZ), un SMR de 4,6 metros de longitud y 980 kg de peso que suministraría energía eléctrica a los satélites Kosmos puestos en órbita en los años setenta. Cada TOPAZ suministraba un promedio de 130 kWt y 5kWe.

PROGRAMAS ACTUALES

En 2018 el Laboratorio Nacional de Los Álamos (LANL) en Estados Unidos, en colaboración con la NASA, desarrolló el Kilopower Reactor Using Stirling Technology (KRUSTY), un SMR totalmente automático diseñado para operar durante décadas en lugares remotos u hostiles; en naves espaciales; en la Luna o en Marte. KRUSTY dio lugar al megapower, con innovaciones adicionales en seguridad en el caso de incidencias en el núcleo del re-

actor. Cada unidad del megapower produce cerca de 10 megavatios de electricidad.

En 2020 el Departamento de Defensa norteamericano, a través de su Oficina de Capacidades Estratégicas (SCO), hizo público el Proyecto Pele que permitirá la creación de un SMR de 1 a 5 mw, con nuevos avances científicos y tecnológicos, intrínsecamente seguros y capaces de soportar ataques externos necesitando una zona de exclusión más reducida. Probablemente estará operativo a finales de 2023 y se probará en 2024. Según indicó el director del SCO, la producción a gran escala de un reactor nuclear de cuarta generación tendrá implicaciones geopolíticas significativas para los Estados Unidos. «El Proyecto Pele ofrece una oportunidad única para seguir avanzando en resiliencia energética, reducción de emisiones de CO₂, al tiempo que se incrementa la seguridad nuclear y los estándares de no proliferación en los reactores avanzados en todo el mundo».

La Federación rusa fue pionera desde 1959 en el desarrollo de potentes rompehielos propulsados

por energía nuclear. Actualmente tiene una flota de decenas de unidades en operación, construcción y planificación, navegando por latitudes transárticas, liderada técnicamente por los Artika (2018), Sibir (2019) y Ural (2020). En 2020, la Corporación de Energía Atómica Estatal (ROSATOM) puso en marcha la primera central nuclear flotante del mundo, Akademik Lomonosov, provista de reactores KLT-40S que viene proporcionando cogeneración de electricidad y calor en la provincia de Chukotka, en el distrito lejano oriente, uno de cuyos usos es la desalinización del agua marina. Según autoridades rusas, en la actualidad están siendo desarrollados nuevos SMR tipo RITM-200 que operarían en 2028 en la región de Yakutia, República de Saja, que con más de tres millones de km² es una de las más extensas en Rusia. Los nuevos SMR ayudarían en la propulsión de nuevos sistemas de exploración y búsqueda de nuevas fuentes de hidrocarburos en el Círculo Polar Ártico.

China comenzó en 2010 el desarrollo de reactores SMR AC100 en la central nuclear de Changjiang, en la



La central nuclear flotante Akademik Lomonosov mientras es remolcada al distrito de Chukotka en 2019.
Imagen: wikimedia.org

provincia de Hainan, en el mar del Sur. En 2021 conectó la primera de ellas a la red eléctrica de la provincia de Shandong, situada en la costa del mar Amarillo. China es probablemente el país que más inversiones está realizando en la fabricación y puesta en marcha de estos reactores nucleares, puestos sus objetivos en distribución de electricidad en zonas densamente pobladas; suministro a redes de distribución en áreas remotas y a sus bases militares. Comercialmente, China espera ser asimismo exportador mundial de esta tecnología.

medioambientales en lo que respecta a la reducción de emisiones de CO₂.

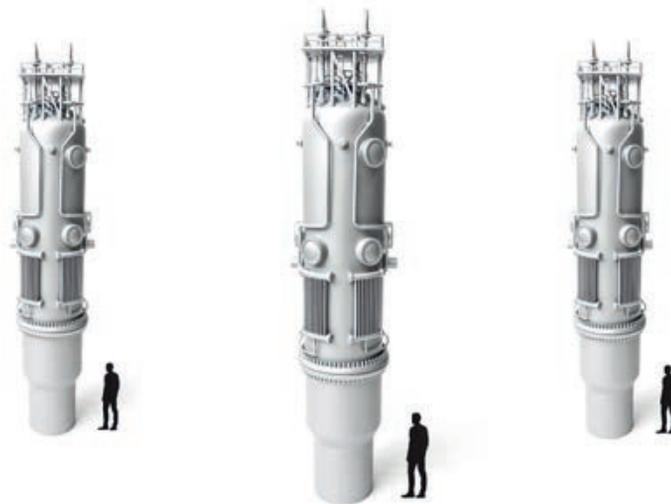
Además de los Estados Unidos, la Federación Rusa, China, otros países como Canadá, Argentina y Corea del Sur, tienen SMR en fase de desarrollo y con las licencias correspondientes por parte del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

En el siglo XXI se han consolidado nuevos tipos de guerra (ciberguerra, híbrida, electrónica, de información) donde el factor de seguridad energética añade más necesidades al

suministro fiable, medioambiental y técnicamente sostenible se ha convertido hoy en día en una necesidad de magnitud crítica para la seguridad de las naciones. ■

REFERENCIAS

- Carpintero Santamaría, Natividad (2022). *Energy Security in the 21st Century*. Aceptada para su publicación.
- DoD Releases Draft Environmental Impact Statement for Project Pele Mobile Microreactor. Sep 24, 2021. Department of Defense. <https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/2787271/dod-releases-draft-environmental-impact-statement-for-project-pele-mobile-micro/>



CONCLUSIONES

En 2022 se están llevando a cabo programas de I+D en distintas naciones que contemplan el desarrollo de más de 70 modelos de fabricación de reactores nucleares modulares. Podría decirse que los SMR constituirán la nueva generación de reactores nucleares, con diseños que permitirán su funcionamiento durante treinta años sin tener que recargar combustible. Asimismo, adaptados a distintas zonas climáticas, con diversos diseños y distintos propósitos, con el objetivo de desarrollar fuentes de suministro eléctrico autónomo que se puedan instalar en redes existentes, o en ubicaciones remotas sin conexión a la red. Todo ello en el marco del cumplimiento de las políticas

aparato tecnológico militar de los estados y donde la superioridad ante el adversario está basada en estrategias de ataque de alta tecnología. La evolución exponencial de la tecnología digital, medida ya en unidades de almacenamiento de *zettabytes* (1021 bytes) necesita para el funcionamiento de los gigantescos centros de datos, ubicados tanto en superficie como subterráneos a lo largo de la geografía global, una cantidad muy significativa de suministro eléctrico, calculándose que el 40% del mismo está destinado a los sistemas de filtros de aire y de circulación que refrigeren eficazmente los sensibles nanocomponentes electrónicos. Todo ello nos lleva, por tanto, a reafirmar que la seguridad energética basada en un

- Preliminary Assessment of Two Alternative Design Concepts for the Special Purpose Reactors. <https://doi.org/10.2172/1413987>. https://www.lanl.gov/discover/publications/1663/2019-february/_assets/docs/1663-33-Megawatt-power.pdf
- Rosatom Overseas Receives Russian Regulator's License for Nuclear Installations Construction. 9 August, 2021. <https://www.rosatom.ru/en/press-centre/news/rosatom-overseas-receives-russian-regulator-s-license-for-nuclear-installations-construction/>
- Status of Small and Medium Size Reactors Design. <https://aris.iaea.org/Publications/smr-status-sep-2012.pdf> International Atomic Energy Agency.
- <https://aris.iaea.org/Publications/smr-status-sep-2012.pdf>
- Suid, Lawrence H. (1990). *The Army's Nuclear Power Program: The Evolution of a Support Agency*. Contributions in Military Studies, Number 98. ISBN 978-0-313-27226-4.
- The United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). <https://unece.org/sites/default/files/2021-10/LCA-2.pdf>