

# ¿Cómo funcionan los submarinos nucleares?



**Dra. Alejandría D. Pérez-Valseca**  
*Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa,  
Área de Ingeniería en Recursos Energéticos*

**Dr. Gilberto Espinosa-Paredes**  
*Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa,  
Área de Ingeniería en Recursos Energéticos*

**Resumen**

Desde el descubrimiento de la fisión nuclear y el control de la reacción en cadena, la energía nuclear ha estado en constante investigación y desarrollo. Sus aplicaciones incluyen los sistemas de generación eléctrica, aplicaciones médicas, agricultura y en sistemas de transporte, como los rompehielos y submarinos, por mencionar algunas. El uso de reactores nucleares en submarinos ha permitido aumentar su eficiencia, alcanzando mayor velocidad y aumentando el tiempo en el que pueden estar sumergidos. En este artículo se presenta de manera sencilla la historia y funcionamiento de los submarinos nucleares.

**Palabras clave:** Submarinos nucleares, fisión nuclear, tecnología nuclear, navíos nucleares.

**Abstract**

Since the discovery of nuclear fission and control of the chain reaction, nuclear energy has been in constant research and development. Its applications include electrical generation systems, medical applications, agriculture, and transportation systems, such as icebreakers and submarines, to name a few. The use of nuclear reactors in submarines has allowed them to increase their efficiency, reaching higher speeds and increasing the time they can be submerged. This article presents the history and operation of nuclear submarines.

**Keywords:** Nuclear submarines, nuclear fission, nuclear technology, nuclear navy.

**¿Cómo funcionan los submarinos nucleares?**

Durante el último siglo, la civilización ha experimentado grandes avances tec-

nológicos, con la finalidad de explorar y entender nuevos entornos, tanto en la tierra como en el espacio exterior. Ejemplo de esto, es la exploración del Polo Norte y Polo Sur, las misiones en la Luna y Marte, así como la investigación constante en el subsuelo oceánico. Esta evolución tecnológica ha impulsado el estudio y aplicaciones de nuevas fuentes de energía, que proporcionen potencia suficiente por tiempos prolongados para poder realizar estas exploraciones. Una de estas fuentes de energía es la basada en la fisión nuclear. El estudio de la energía nuclear se desarrolló gracias a varias contribuciones, entre las que destacan el descubrimiento de la fisión nuclear por Lise Meitner y las aportaciones en el control de la reacción en cadena por Enrico Fermi.

La fisión nuclear es el proceso el cual inicia con un neutrón que colisiona a un átomo de material fisionable, por ejemplo U-235 y Pu-239, el neutrón es absorbido y el átomo es excitado, lo que ocasiona que se divida en dos fragmentos, liberando a su vez en promedio 2.5 neutrones y 200 MeV de energía, los neutrones liberados son de alta energía (alrededor de 2.5 MeV) y se conocen como neutrones rápidos. Para lograr la fisión de los átomos, la energía del neutrón absorbido depende de la naturaleza del átomo que va a ser fisionado, para el U-235 se requieren neutrones térmicos, los cuales tienen una energía menor de 0.025 eV y para el Pu-239 se requieren neutrones rápidos y térmicos (Smith, 2010).

Las diferentes tecnologías basadas en la fisión nuclear, incluyen los reactores nucleares para la generación de energía eléctrica con diferentes refrigerantes, incluyendo un combustible nuclear líquido, sistemas sate-

litales, así como sistemas de transporte marítimo, como los rompehielos y submarinos.

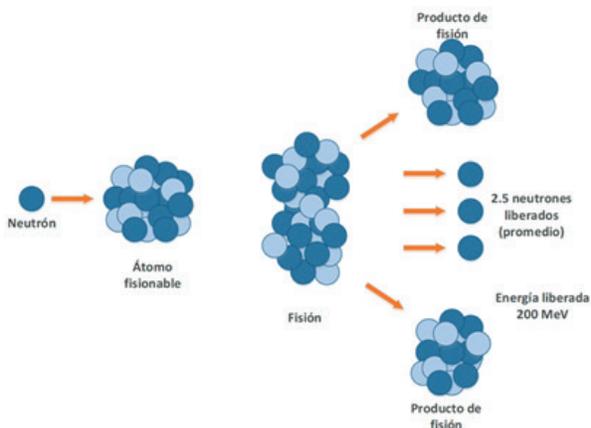


Figura 1. Reacción de fisión nuclear.

Un submarino es una embarcación capaz de navegar en la superficie o debajo del agua. Logran ascender y descender gracias a los lastres, los cuales son un sistema de tanques que se llenan de agua para poder hundirse, o, por el contrario, para poder salir a la superficie, expulsan el agua y se le inyecta aire a presión. Para poder llevar a cabo estos procesos, los submarinos requieren de una fuente de energía eléctrica. Los diseños convencionales cuentan con baterías que les suministran la electricidad cuando se encuentran sumergidos y motores diésel cuando la embarcación está en la superficie del agua, así mismo, estos motores se utilizan para recargar las baterías. Esto limita el tiempo que la embarcación puede estar sumer-

gida, así como la velocidad que pueden alcanzar bajo el agua.

Con el objetivo de tener submarinos que pudieran pasar más tiempo sumergidos, se buscaron fuentes de energía que fueran capaces de suministrar energía de manera constante y segura por largos periodos de tiempo. Es así como nació la idea de utilizar reactores nucleares en los submarinos, surgiendo así el término “submarino nuclear”, lo cual hace referencia a la procedencia de la energía utilizada, la cual es de origen nuclear, y no a que los submarinos tengan o no armamento nuclear.

Los trabajos sobre propulsión marina nuclear comenzaron en la década de 1940, y el primer reactor de prueba se puso en marcha en Estados Unidos de América (EUA) en 1953. El primer submarino de propulsión nuclear, el USS Nautilus, se hizo a la mar en 1955 (Friedman, 2023). Esto marcó la transición de los submarinos de lentos buques submarinos a buques de velozes, los submarinos convencionales pueden mantener una velocidad bajo el agua de 13 nudos (24 km/h), mientras que los de propulsión nuclear pueden hacerlo arriba de 20 nudos (37 km/h). Los nuevos diseños alcanzan una velocidad de 29 nudos (53 km/h), con una potencia de 36.7 MW. Además, al utilizar combustible nuclear, pueden permanecer sumergidos por



Figura 2. Primer submarino nuclear.

más tiempo, ya que no hay necesidad de subir a la superficie a recargar las baterías o combustible diesel con frecuencia.

Actualmente, EUA, Rusia, Reino Unido, Francia, China e India son los países que cuentan con submarinos nucleares. En recientes meses, Australia y Brasil anunciaron su interés por adquirir esta tecnología nuclear.

Los reactores nucleares utilizados en submarinos son generalmente reactores de agua a presión (PWR, por sus siglas en inglés) y reactores rápidos enfriados con plomo (LFR, por sus siglas en inglés). Dentro del submarino, el reactor nuclear proporciona el calor que impulsa una turbina de vapor, la cual, a su vez, impulsa una hélice (WNA, 2023).

El proceso inicia en el núcleo del reactor, en donde se llevan a cabo los procesos de fisión nuclear, este fenómeno libera grandes cantidades de energía en forma de calor, el cual es removido por el fluido refrigerante, el cual, en algunos diseños, también actúa como moderador de los neutrones. En los reactores PWR el refrigerante/moderador es el agua, en el caso de los reactores LFR, no se requiere un moderador, por lo que se utiliza plomo o una mezcla de plomo-bismuto como refrigerante (Morison et al., 1998).

El refrigerante se envía al generador de vapor, el cual es un intercambiador de calor en donde se transfiere el calor del refrigerante al agua, generando vapor, el cual es enviado a un sistema de turbinas; en algunos diseños, el reactor cuenta con una turbina de alta potencia, en otros, con dos turbinas, una de alta y otra de baja potencia. Una vez que el vapor sale de la turbina, pasa por un condensador, con el fin de tener nuevamente agua y repetir el proceso en el generador de vapor. El refrigerante, después de pasar por el generador de vapor, regresa al núcleo del reactor nuclear para repetir el proceso de refrigeración.

La turbina genera electricidad, la cual es enviada a un motor eléctrico, el cual mueve la hélice que impulsa el submarino. Además de alimentar el motor, la electricidad es utilizada para otras operaciones y servicios dentro del submarino.

En la mayoría de los casos, el refrigerante en el reactor circula mediante una bomba. Los reactores también pueden disponerse de manera que las diferencias de temperatura (por ejemplo, entre la parte del reactor que contiene el combustible y el resto del reactor) obliguen al refrigerante a circular de forma natural.

El metal líquido que se ha utilizado en los reactores LFR para submarinos es una

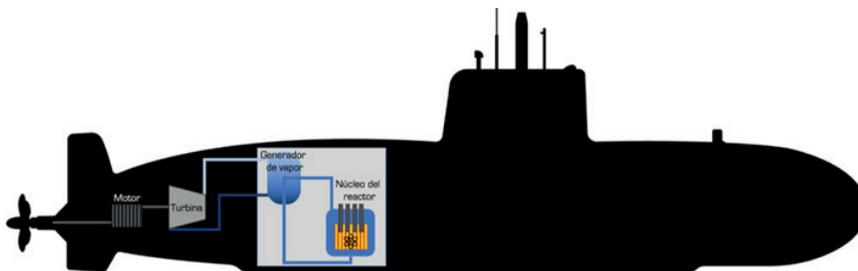


Figura 3. Reactor nuclear en un submarino.

mezcla eutéctica de plomo-bismuto, en este campo, Rusia tiene mucha experiencia, la cual inició en la década de los años 80. El reactor refrigerado por metal líquido funciona según el principio de que el metal fundido puede transportar mucho más calor que el agua, por lo que se puede utilizar una turbina más compacta (Hans et al., 2002).

En contra de esa ventaja, el metal fundido puede volverse altamente radiactivo, de modo que las fugas, que ya son bastante peligrosas en reactores PWR, lo son mucho más en estos reactores LFR. En segundo lugar, las bombas de estos reactores deben ser mucho más potentes. Por último, siempre existe la posibilidad de que se pierda suficiente calor como para que la planta se bloquee y el metal se solidifique en las tuberías, con resultados catastróficos.

La Marina de los EUA desarrolló prototipos de agua a presión y de metal líquido. Completó sus dos primeros submarinos nucleares, el Nautilus y el Seawolf, para probar los dos tipos, pero problemas (incluidas fugas) en el reactor Seawolf llevaron al abandono del plan de metal líquido. Posteriormente, la marina también desarrolló reactores de circulación natural (EPA, 2023).

Las armadas nucleares de los diversos países han empleado reactores de agua a presión o de circulación natural, con excepción de Rusia, ya que cuenta con velozes submarinos que operan con reactores de metal líquido, los cuales iniciaron su construcción en la década de 1970 y su operación en 1980 y algunos de ellos aún siguen operando.

Los submarinos fueron diseñados como embarcaciones para exploración marítima, sin embargo, su uso se ha enfocado

principalmente en la armada. La llegada de los submarinos nucleares tuvo dos grandes consecuencias; uno es el surgimiento de un tipo de submarino completamente nuevo: el submarino estratégico y la otra es una revolución en la guerra antisubmarina, en la que los submarinos de ataque se convertirán en las principales armas ante estas tecnologías.

Los submarinos de ataque están armados con torpedos y, en algunos casos, con misiles antibuque. Los submarinos estratégicos pueden llevar armas similares, pero sus armas principales son misiles balísticos. Además de utilizarse en submarinos, los reactores nucleares también han sido utilizados en los buques rompehielos, principalmente en Rusia, permitiendo que los buques operen por largos periodos de tiempo y tengan la potencia necesaria para romper las capas de hielo, pasando meses y hasta años sin necesidad de regresar a puertos por combustible.

#### Referencias:

EPA. *Nuclear Submarines and Aircraft Carriers*. United States Environmental Protection Agency. Mayo 2023. Recuperado de: <https://www.epa.gov/radtown/nuclear-submarines-and-aircraft-carriers>

Hans B. Honerlah, Brian P. Hearty. *Characterization of the nuclear barge Sturgis*. WM'02 Conference, February 24-28, 2002, Tucson, Arizona. (2002) Recuperado de: <https://archivedproceedings.econference.io/wmsym/2002/Proceedings/44/168.pdf>

Morison, J., Steele, M., & Andersen, R. Hydrography of the upper Arctic Ocean measured from the nuclear submarine USS Pargo. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 45(1), 15-38. (1998)

Norman Friedman. Nuclear submarine. Encyclopaedia Britannica. Diciembre 2023. <https://www.britannica.com/technology/nuclear-submarine>

Smith, Craig (2010). Lead-Cooled Fast Reactor (LFR) Design: Safety, Neutronics, Thermal Hydraulics, Structural Mechanics, Fuel, Core, and Plant Design. A compendium of Reactor Technology. Lawrence

Livermore National Laboratory. Estados Unidos de América.

WNA. *Nuclear-Powered Ships*. World Nuclear Association. Octubre 2023. Recuperado de: <https://world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/transport/nuclear-powered-ships.aspx>