

03/2019

11 de enero de 2019

*Augusto Conte de los Ríos **

El mercado de submarinos y la
oportunidad de Navantia

[Visitar la WEB](#)

[Recibir BOLETÍN ELECTRÓNICO](#)

El mercado de submarinos y la oportunidad de Navantia

Resumen:

Durante la próxima década se construirán más de 100 submarinos convencionales con un coste global de unos 40 000 millones de euros. Navantia se encuentra a punto de culminar el S-80 y tiene una oportunidad real de situarse de manera preferente en un mercado en alza y donde solo coexisten siete empresas con posibilidades de ofertar submarinos convencionales. Mediante un proceso de evaluación multicriterio, utilizando el método propuesto por Thomas L. Saaty, un grupo de expertos ha comparado el proyecto de Navantia con las opciones más avanzadas de sus competidores, determinando de forma matemática la posición relativa del S-80 en tres principales aspectos: plataforma, propulsión y armas. Navantia puede volver a un mercado selecto, la fuerza de sus competidores es grande. Mediante este análisis determinaremos las fortalezas y debilidades del S-80 y también veremos qué aspectos debe mejorar Navantia para regresar a un mercado en auge.

Palabras clave:

Submarino, AIP, batería de litio, célula de combustible, Thomas L. Saaty, análisis multicriterio.

***NOTA:** Las ideas contenidas en los *Documentos de Opinión* son de responsabilidad de sus autores, sin que reflejen, necesariamente, el pensamiento del IEEE o del Ministerio de Defensa.

Submarines' market and the opportunity for Navantia

Abstract:

During the next decade, more than a hundred conventional submarines will be built with a global cost of around 40,000 million euros. Navantia is near to finish the first S-80 and has real chances of entering a rising market where only seven companies have possibilities to offer conventional submarines. Through an analytic hierarchy process, using Thomas L. Saaty's method, some experts compared Navantia's project with the most advanced solutions of its competitors, mathematically determining the relative position of the S-80 in three main aspects: platform, propulsion and weapons. Navantia has a real opportunity of entering again an exclusive market, being the strength of its competitors who are great as well. Through this analysis we will determine the strengths and weaknesses of the S-80 and we will also see what aspects Navantia should strengthen to enter again a growing market.

Keywords:

Submarine, AIP, Lithium Ion Battery, Fuel Cell, Thomas L. Saaty, Analytic Hierarchy Process.

Cómo citar este documento:

CONTE DE LOS RÍOS, Augusto. *El mercado de submarinos y la oportunidad de Navantia*. Documento de Opinión IEEE 03/2019. [enlace web IEEE](#) y/o [enlace bie³](#) (consultado día/mes/año)

Introducción

Los submarinos empezaron a demostrar su valía en la Primera Guerra Mundial. Ya antes, Isaac Peral concibió el submarino como un arma barata contra los grandes acorazados y el blindaje de los *pre-dreadnought* construidos a finales del siglo XIX.

El uso del submarino fue adaptándose a las circunstancias y a los avances tecnológicos que buscaban eliminarlos. Los sónares y la aviación serían sus mayores enemigos. Esta evolución llevó a nuevas misiones y a cambios en su modo de empleo, surgen submarinos artillados como el *surcouf* francés, submarinos portaviones como la serie I-400 japonesa y también para apoyo de operaciones especiales como el *USS Greeneville* y su *Dry Deck Shelter*¹.



Figura 1. USS Greeneville con un sistema de operaciones especiales (USN)

Los actuales submarinos convencionales cubren todas esas capacidades, manteniendo su mayor ventaja, la discreción. Desde los comienzos demostraron ser una amenaza gracias a su capacidad de permanecer ocultos. La presencia real o simplemente la ligera sospecha de la presencia de un submarino tiene un gran impacto en las operaciones.

¹ Así se denomina al compartimento refugio externo al submarino, también conocido como *Advanced SEAL Delivery System (ASDS)* cuando incluye otros sistemas más avanzados como vehículos tripulados.

Obliga a escoltas y a aeronaves a emplearse a fondo, la Royal Navy dio cuenta de ello en las Malvinas. Los argentinos, con solo un submarino operativo, provocaron muchas acciones antisubmarinas y el lanzamiento indiscriminado de torpedos sobre falsos contactos.

Los submarinos son un arma relativamente económica. Países como Irán o Corea del Norte han dado cuenta de ello y construyen sus propios «minisubmarinos», muy limitados, pero también muy efectivos en aguas someras o restringidas como el estrecho de Ormuz o las costas de la península de Corea. Un ejemplo de esta efectividad fue el hundimiento de la corbeta surcoreana «Cheonan»: un solo torpedo de carrera rectilínea lanzado desde un «minisubmarino» norcoreano bastó para hacer desaparecer a la más moderna unidad de la Marina surcoreana.

No solo son un arma preventiva o estratégica, sino que también sirven para contrarrestar a otros submarinos, para recolectar inteligencia o como apoyo a operaciones especiales. Se puede optar por propulsión convencional o nuclear, esta solo al alcance de unos pocos. Cinco países juegan en esta liga nuclear: Estados Unidos, Francia, Reino Unido, China y Rusia. Los tres primeros renunciaron a los submarinos convencionales y optaron por una flota puramente nuclear hasta la fecha.

Los submarinos diésel-eléctricos son una opción más económica y proporcionan prácticamente las mismas capacidades con menor autonomía. Su inconveniente es la recarga de las baterías de manera indiscreta haciendo *snorkel*². Las mejoras en las baterías de litio y las nuevas tecnologías de propulsión anaeróbica los aproximan aún más a sus hermanos mayores, los submarinos nucleares.

La mayoría de las ventas de submarinos convencionales en las últimas décadas son europeas y no sorprende que el país que tomó la iniciativa en el desarrollo del arma submarina durante ambas guerras mundiales, Alemania, sea el líder en ese selecto club de constructores y exportadores de submarinos convencionales. Hasta 13 armadas

² *Snorkel* es una operación que permite al submarino recargar las baterías en inmersión, izando un mástil de aire hasta superficie por donde aspira el aire necesario para la combustión del diésel generador. Fue inventado por los holandeses y empleado por los alemanes al final de la Segunda Guerra Mundial.

operan submarinos construidos por la Thyssen Krupp Marine Systems GmbH (TKMS), heredera de la veterana Howaldtswerke-Deutsche Werft (HDW).

Las otras seis empresas son la francesa Naval Group —antigua DCNS—, la rusa Rubin Central Design Bureau for Marine Engineering de San Petersburgo, la china State Shipbuilding Corporation de Jiangnan, el consorcio japonés Mitsubishi y Kawasaki Heavy Industries, la sueca Saab-Kockums, y, por último, la española Navantia con sus astilleros de Cartagena.

España se ha apuntado a este selecto grupo. Tras la experiencia fallida del consorcio Navantia-DCNS, se ha apostado por un desarrollo propio que satisfaga los exigentes requisitos de la Armada española. Problemas sobrevenidos han hecho que se tuviera que contar con el apoyo de la estadounidense Electric Boat. El reto es complejo, nos encontramos en su recta final³ y ya se apuesta por nuevos proyectos.



Figura 2. Proa del submarino S-80 Isaac Peral (ABC)

³ Programa S-80 (MdE). Disponible en: <http://www.defensa.gob.es/Galerias/dgamdocs/programa-S-80.pdf> (Consulta 17-12-18).

Estados Unidos sigue planteando⁴ la necesidad de contar con este tipo de unidades más económicas para contrarrestar a chinos y rusos aunque es probable que finalmente se opte por el empleo de vehículos submarinos no tripulados en combinación con sus modernos submarinos nucleares de ataque.

Este documento trata de dar luz al estado del mercado de submarinos convencionales. Nos quedan dos años para la puesta a flote del primero de los submarinos de la clase S-80, el Isaac Peral y, sin duda, será una revolución para la Armada española y más aún para Navantia que tendrá enormes posibilidades de volver a la arena y empezar a ofertar submarinos convencionales a terceros países o formar un consorcio europeo.

El mercado de los submarinos convencionales

En los últimos años, el sector de los submarinos convencionales ha sufrido un repunte considerable gracias al mercado asiático que cuenta con la presencia de dos fabricantes, China y Japón. Los chinos han vendido 13 unidades, dos a Bangladesh de una versión antigua que tenían en desuso y 11 unidades de la moderna clase Yuan o Hangor⁵, a Pakistán⁶ y a Tailandia⁷. La clase Yuan⁸ (proyecto 041) deriva de la clase Song (proyecto 039A) y este de la clase Kilo⁹ (proyecto ruso 877/636).

⁴ Diesel Electric Submarine Initiative (DESI). (Undersea Warfare, US Navy). Disponible en: https://www.public.navy.mil/subfor/underseawarfaremagazine/Issues/Archives/issue_38/desi.html (Consulta 17-12-18).

⁵ Hangor New Submarines. Disponible en: <https://www.globalsecurity.org/military/world/pakistan/ss-new.htm> (Consulta 17-12-18).

⁶ Pakistan confirms submarine contract. Disponible en: <https://quwa.org/2016/08/04/pakistan-ministry-defence-production-confirms-submarine-contract/> (Consulta 17-12-18).

⁷ Thailand inks submarine deal with China. Disponible en: <https://quwa.org/2017/05/08/thailand-inks-s26t-submarine-deal-china/> (Consulta 17-12-18).

⁸ Yuan Type 039A / Type 041. Disponible en: <https://www.globalsecurity.org/military/world/china/yuan.htm> (Consulta 17-12-18).

⁹ Inside the Design of China's Yuan-class Submarine. Disponible en: <https://news.usni.org/2015/08/31/essay-inside-the-design-of-chinas-yuan-class-submarine> (Consulta 17-12-18).



Figura 3. Corte de la primera plancha para los submarinos tailandeses

Se tratan de submarinos diésel-eléctrico (SSK) con posibilidades de montar un módulo AIP¹⁰ de propulsión Stirling¹¹ armados con misiles antiaéreos YJ-2 (YJ-82) y con una combinación de torpedos Yu-4 (SAET-50) y Yu-3 (SET-65E). La versión de exportación se denomina S-20 o S-26¹².

La *People's Liberation Army Navy* (PLAN), según *Jane's Fighting Ships*, cuenta con 13 unidades de la clase Yuan y tienen en marcha un pedido de otros cuatro. Además de estos submarinos, disponen de varios submarinos Kilo, Lada, Song y Qing. Su flota convencional es la más numerosa del mundo¹³ y el PLAN apuesta por que sea su columna vertebral en los conflictos que mantienen con sus vecinos¹⁴.

¹⁰ Acrónimo de *Air Independent Propulsion*, un tipo de propulsión anaeróbica diferente a la nuclear que se utiliza en los submarinos y que les permite navegar en inmersión sin necesidad de recargar las baterías.

¹¹ China's First AIP Submarine Unit Breaks Records. Disponible en: <http://www.navyrecognition.com/index.php/news/defence-news/2018/july-2018-navy-naval-defense-news/6330-china-s-first-aip-submarine-unit-breaks-records.html> (Consulta 17-12-18).

¹² Type 093T sub design breaks cover (IHS). Disponible en: <https://www.janes.com/article/50154/type-093t-sub-design-breaks-cover> (Consulta 17-12-18).

¹³ China's Submarine Solution for the Taiwan Strait. Disponible en: <https://news.usni.org/2015/07/08/essay-chinas-submarine-solution-for-the-taiwan-strait> (Consulta 17-12-18).

¹⁴ Japan's defense chief criticizes China over submarine near disputed islands. Disponible en: <https://www.reuters.com/article/us-japan-china-submarine/japans-defense-chief-criticizes-china-over-submarine-near-disputed-islands> (Consulta 17-12-18).



Figura 4. Información sobre la planta AIP en los submarinos chinos

Los rusos siguen compitiendo con el submarino Kilo o proyecto 636, submarinos pequeños¹⁵, pero que cubren prácticamente las mismas capacidades que un submarino nuclear de ataque SSN. Tras completar el refuerzo de su flota del mar Negro con seis unidades, acaban de encargar otras seis unidades para su flota en el Pacífico¹⁶.

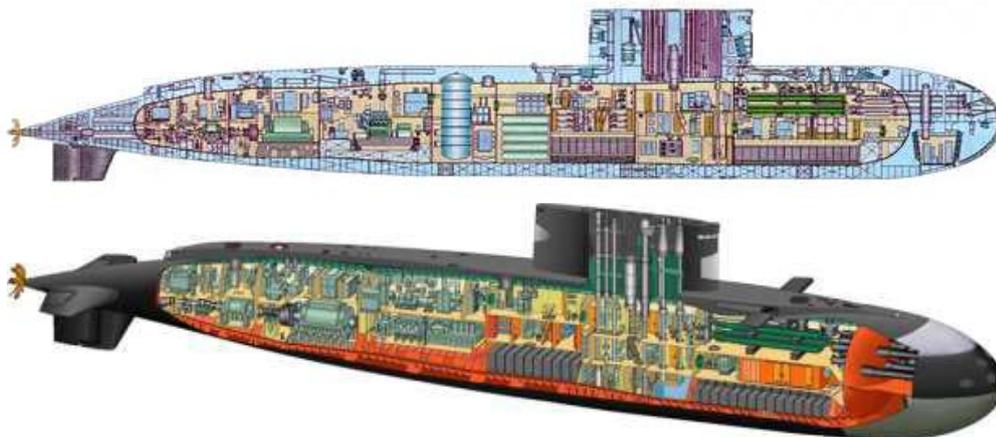


Figura 5. Submarino clase Kilo 636M (Rubin Central Design Bureau)

¹⁵ Proyecto 636 (Rosoboron export). Disponible en: http://roe.ru/pdfs/pdf_2057.pdf (Consulta 17-12-18).

¹⁶ DELANOE, I. After the Crimean crisis: towards a greater Russian maritime power in the Black Sea. *Southeast European and Black Sea Studies*, 2014, 14(3), 367-382.

El Kilo ha servido de base para la mayor flota de submarinos convencionales, incluyendo la clase Yuan anteriormente vista y a otras 47 unidades rusas de diferentes variantes (proyectos 636/877). El último país en incorporar este submarino ha sido Vietnam con seis unidades, Argelia ha firmado una ampliación con dos unidades más, todos sin propulsión AIP, que se reserva por ahora a la clase Lada/Amur (proyecto 677).



Figura 6. Lanzamiento de un misil de crucero desde el Rostov-na-Don (Noticias RIA)

Rusia apuesta por los submarinos convencionales, su discreción les permite actuar de manera impune y los hacen idóneos para el mar Negro o el Mediterráneo, haciendo innecesarios modernos y complicados sistemas de propulsión nuclear. Los submarinos clase Kilo mejorada (proyecto 636/636.3) en combinación con el misil Kalibr¹⁷ ha cosechado un enorme éxito en conflictos como el de Siria y hacen de él un candidato idóneo para la exportación.

Japón todavía no ha conseguido materializar ninguna venta, pero cuenta con un moderno submarino que se ajustaba muy bien a las necesidades de Australia. Esto le llevó a modificar su Carta Magna para permitirles la exportación de material bélico. Finalmente, Francia con la Naval Group se hizo con ese contrato, pero Japón ha seguido produciendo

¹⁷ Game changer: Russian sub-launched cruise missiles bring strategic effect (IHS). Disponible en: https://www.janes.com/images/assets/147/70147/Game_changer_Russian_sub-launched_cruise_missiles_bring_strategic_effect_edit.pdf (Consulta 17-12-18).

submarinos para el mercado interior con las mejores baterías y un versátil motor Stirling de origen sueco.



Figura 7. Ceremonia de botadura en los astilleros Kawasaki del Shoryu SS-509 (Frontinfo)

La clase más moderna japonesa es la Souryu que contará con una serie de 14 submarinos, siendo el último botado el Oryu, undécimo de la serie y primero en llevar baterías de litio¹⁸ ¹⁹. Son submarinos grandes con casi 3 000 toneladas en superficie, seis tubos lanzatorpedos y, como se ha indicado anteriormente, propulsión AIP con motores Stirling. Se trata de una evolución de la clase Oyashio y, además de Australia, la India también ha estado interesada en su adquisición.

Llegamos a Suecia con Saab-Kockums, desplazada del escenario tras su fallida fusión con la Thyssen Krupp Marine Systems. Se acaban de independizar y han sacado adelante un nuevo proyecto, el *Nästa Generation Ubåt* o proyecto A-26. Anteriormente intentaron formar consorcio con daneses y noruegos, pero finalmente se han quedado solos. Saab-Kockums, igual que Navantia, necesita de un éxito con su A-26 para volver a este exclusivo mercado.

¹⁸ Japan's first submarine powered by lithium-ion batteries. Disponible en: <http://www.navyrecognition.com/index.php/news/defence-news/2018/october-2018-navy-naval-defense-news/6543-mhi-launched-the-11th-soryu-class-ssk-ss-511-oryu-for-the-jmsdf.html> (Consulta 17-12-18).

¹⁹ DAVIS, R. E. AND J. T. SHERMAN Evaluating a Lithium-Seawater Battery on Gliders. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, May 2017, 34(5), 1175-1182.



Figura 8. Nästa Generation Ubåt (Swedish Navy)

Por ahora es complicado, su fallido consorcio escandinavo ha limitado la producción inicial a cuatro submarinos para la Armada sueca. El primero espera ser botado en 2023 y el segundo en 2025, esto demuestra lo difícil que es.

Continuamos con Francia y la DCNS, claro rival de Alemania con dos proyectos muy parecidos, el Scorpene y el Barracuda. La clase Scorpene, donde también participó Navantia, fue un éxito exportándose a países como Chile, Malasia, India y Brasil que acaba de botar la primera de las unidades construidas en Río de Janeiro, El Riachuelo.

El Scorpene de Brasil es un submarino convencional sin AIP, aunque con posibilidades de implementarlo gracias al aumento de desplazamiento que se emplea ahora para mejorar la habitabilidad y para albergar tanques extras de combustible.



Figura 9. Submarino “Riachuelo” de la Marina brasileña (Naval Group)

El Barracuda es otra historia, todavía no sabemos cómo saldrá y si colmará las necesidades de la Armada australiana²⁰. Existen dos versiones, una con propulsión nuclear para la Marina francesa²¹ y otra con AIP para Australia (también denominado Shortfin Barracuda, Future Submarines o Attack Class²²).

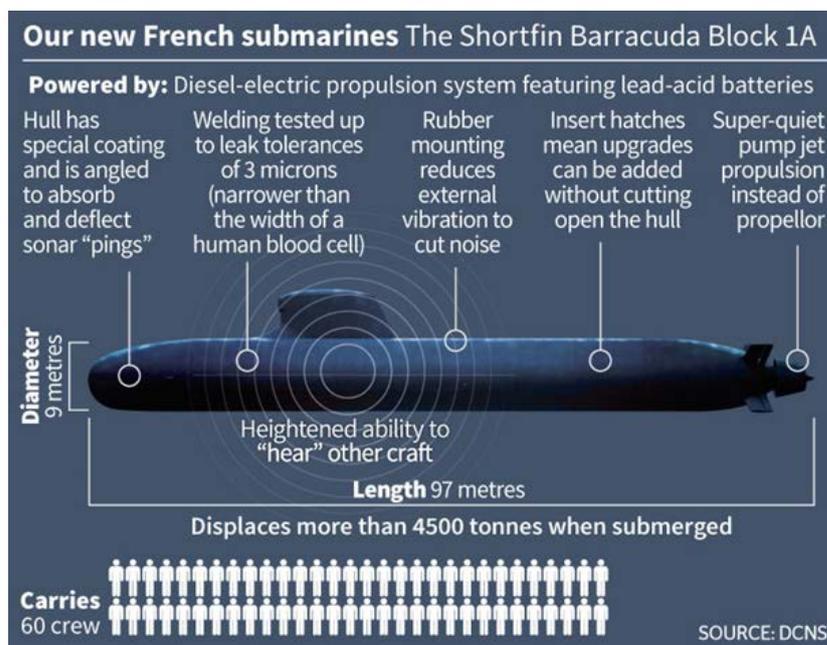


Figura 10. Proyecto Barracuda para la Armada australiana (DCNS)

La información que tenemos del Barracuda es escasa, sabemos que deriva del SMX Ocean Concept²³ y cuenta con muchas características de la misma serie francesa de propulsión nuclear. Japón y Alemania lucharon por el contrato de Australia, pero finalmente se lo llevó Naval Group al firmar un contrato por 12 submarinos en 2016, la entrega de la primera unidad se espera para 2025.

²⁰ Submarines in Australia (SIA). Disponible en: <https://www.submarineinstitute.com/submarines-in-australia/> (Consulta 17-12-18).

²¹ First of the French Barracuda Submarines is Ready for Launch. Disponible en: <https://www.defence24.com/first-of-the-french-barracuda-submarines-is-ready-for-launch> (Consulta 17-12-18).

²² Future submarines renamed 'Attack class'. Disponible en: <https://www.abc.net.au/news/2018-12-13/future-naval-submarines-renamed-attack-class/10614876> (Consulta 17-12-18).

²³ SMX 3.0: The best of 3.0 and stealth technologies. Disponible en: <https://www.naval-group.com/wp-content/uploads/2017/01/smx3-0-the-best-of-3-0-and-stealth-technologies.pdf> (Consulta 17-12-18).

El único sistema AIP en funcionamiento de Naval Group es el MESMA (*Module d'Energie Sous-Marin Autonome*). El MESMA se basa en turbinas de vapor, mismas que la de sus plantas nucleares, pero en su caso el vapor se obtiene al quemar alcohol con oxígeno almacenado.

Actualmente, el MESMA solo lo montan los submarinos de la Marina de Pakistán, clase Agosta 90B²⁴, una variante de los submarinos clase Galerna española. Francia también es un referente en baterías de litio²⁵ y es probable que se integren en el Barracuda.

Alemania fue la gran derrotada en la pugna por el contrato de Australia, pero sigue en cabeza como exportadora de submarinos convencionales. Thyssen Krupp Marine Systems ha vendido en la última década más de 20 submarinos a una decena de países.

Los submarinos alemanes se adaptan a las necesidades de cualquier Armada y su sistema AIP, hasta ahora basado en célula de combustible e H₂ almacenado en tanques de hidruros, es un referente. Estos tanques de hidruros se ha visto que no son la mejor opción y, por eso, su nueva serie contará con un reformador de metanol de Siemens, empresa que suministra las células de combustible²⁶.

Este sistema, parecido al español, permite duplicar la autonomía y es mucho más seguro, ya que el H₂ que se necesita se va produciendo. Recordemos que uno de los problemas del H₂ es su alta volatilidad y la dificultad de su almacenaje²⁷.

²⁴ SSK Agosta 90B Class Submarine. Disponible en: <https://www.naval-technology.com/projects/agosta/> (Consulta 17-12-18).

²⁵ LIBRT: the new Lithium-ion batteries system Made in France! (Naval Group). Disponible en: <http://naval-group.com.au/2018/10/24/naval-group-presents-librt-its-new-generation-of-lithium-ion-batteries-system-for-submarines/> (Consulta 17-12-18).

²⁶ KRUMMRICH, S. AND J. LLABRES Methanol reformer - The next milestone for fuel cell powered submarines. *International Journal of Hydrogen Energy*, Apr 2015, 40(15), 5482-5486.

²⁷ FIORI, C., A. DELL'ERA, F. ZUCCARI, A. SANTIANGELI, et al. Hydrides for submarine applications: Overview and identification of optimal alloys for air independent propulsion maximization. *International Journal of Hydrogen Energy*, Sep 2015, 40(35), 11879-11889.

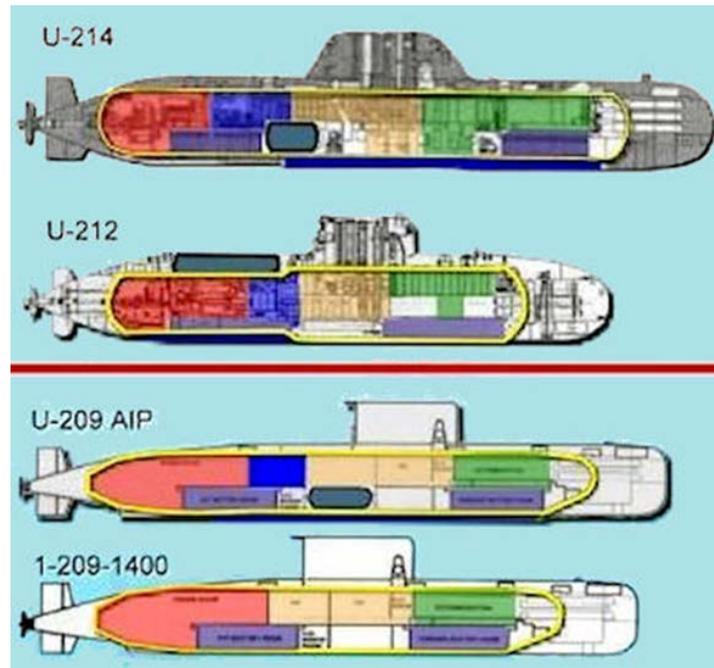


Figura 11. Variantes de submarinos de ThyssenKrupp Marine Systems (Internet)

Terminamos con Navantia y su proyecto estrella, el S-80²⁸. La primera unidad, el Isaac Peral espera ser botado en 2021²⁹. Se trata de un submarino grande con unas 3 000 toneladas de desplazamiento, preparado para llevar misiles de crucero Tomahawk, sistema AIP basado en el reformador de etanol³⁰ y una exigente firma acústica.

El proyecto ha presentado varios problemas, pero Navantia se ha sobrepuesto gracias a la colaboración con Electric Boat, cuyo asesoramiento ha sido fundamental. Su situación es parecida a la de Saab-Kockums, pero en el caso de Navantia cuenta con la aquiescencia del mayor constructor de submarinos nucleares, Electric Boat y la USNavy.

²⁸ Dossier S-80 (Infodefensa). Disponible en: <https://www.infodefensa.com/wp-content/uploads/S-80.pdf> (Consulta 17-12-18).

²⁹ La entrega del primer submarino S-80 está prevista para diciembre de 2021 (Infodefensa). Disponible en: <http://www.infodefensa.com/es/2018/01/18/noticia-primer-llegara-armada-diciembre.html> (Consulta 17-12-18).

³⁰ Técnicas Reunidas y Abengoa completan con éxito sus sistemas AIP para el S-80 (Infodefensa). Disponible en: <https://www.infodefensa.com/es/2018/10/11/noticia-tecnicas-reunidas-abengoa-completan-sistemas.html> (Consulta 17-12-18).

Análisis del mercado de submarinos convencionales

Una vez realizada la revisión del mercado de submarinos convencionales, pasemos a realizar su estudio comparativo, utilizando para ello la metodología de decisión multicriterio AHP (*AnalyticHierarchyProcess*) de Thomas L. Saaty..

Para ello, hemos seleccionado un submarino de cada uno de los siete constructores, valorándose sus datos obtenidos en fuentes abiertas³¹ según los siguientes criterios:



Figura 12. Selección de criterios para la evaluación del mercado (Elaboración autor)

Estos tres criterios y nueve subcriterios van a permitir evaluar de manera completa las siete alternativas de submarinos. No todos tienen el mismo peso y, por eso, se han ponderado siguiendo un método.

La forma de hacerlo ha sido utilizando el método o proceso de jerarquización analítica³² AHP o Saaty en colaboración con un grupo de expertos (Romero 1996)³³, formado por ingenieros navales, ingenieros de armas navales y oficiales submarinistas con experiencia en proyectos como el Scorpene.

³¹ Datos obtenidos de *Jane's Fighting Ships 2018*, uno de los mayores expertos en armamento militar y construcciones navales.

³² Este método fue desarrollado por el matemático Thomas L. Saaty en la Universidad de Pensilvania a finales de la década de los 70 y se basa en descomponer un problema y hacer sucesivas aproximaciones desde diferentes criterios.

³³ ROMERO, C. *Análisis de las decisiones multicriterio*. Madrid: ISDEFE, 1996. ISBN 84-89338-14-0.

Las siete alternativas que se han escogido han sido las siguientes:

		ALTERNATIVAS							
ANÁLISIS SAATY									
		Yuan 041	Kilo 636	A-26	Souryu	Shortfin Barracuda	U-212	S-80	
CRITERIOS	ARMAS	Misiles / Torpedo	YJ-82 / YJ-18 / Yu-4 (SAET-50)	3M-54E / 3M-14E / TEST-71/96 y UGST	SSM / Torpedos	Harpoon / T-89	Harpoon / TLAM / Mk48	Harpoon / DM2 A4	Harpoon/ DM2 A4 / TLAM (fit)
		Tubos	6 TLT	6 TLT	4 TLT + 1 (1 metro)	6 TLT	4 TLT	6 TLT	6 TLT
		Otros	¿FAS/TAS?	SA-N-5/8 (portable)	Tubo UUV/SDV + cañón 30 mm AAW (Muraena)	FAS	¿FAS/TAS?	FAS/TAS y TAU 2000	FAS/TAS y contramedidas
	PLATAFORMA	Casco	Doble casco albacora	Doble casco albacora	Monocasco albacora	Doble casco y recubrimiento anaecoico.	Monocasco albacora	Doble y monocasco	Monocasco albacora
		Timones	Timones retráctiles	Timones retráctiles	Cruz	Cruz	Cruz y timones retráctiles	Cruz	Normales
		Ruido	Poco ruidoso	Poco ruidoso	Poco ruidoso	Recubrimiento anaecoico	<i>Pump jet propulsión</i>	Soportes elásticos	Soportes elásticos, degaussing y posib. recubrimiento anaecoico
	PROPULSIÓN	Diésel / Motor	2 Diésel / MEP	2 Diésel / MEC y MEP	2 Stirling	2 Kawasaki / Kawasaki + Stirling	2 Pielstick / Jeumont Schneider	2 MTU / Siemens	3 MTU / Gamesa
		Baterías	Plomo/acido	Plomo/acido	Plomo/acido	Litio	Plomo/acido o ¿Litio?	Plomo/acido	Plomo/acido
		AIP	¿Stirling?	NO	Stirling Kockums	Stirling Kockums	¿Mesma?	Siemens/HDW PEM fuel cell	Abengoa/TR + UTAS fuel cell

Tabla 1. Alternativas, criterios y principales características (Elaboración autor)

El método consta de cuatro etapas: formulación del problema; evaluación de los criterios y su ponderación; evaluación de las alternativas y, por último, jerarquización de las alternativas una vez evaluadas por parejas en cada uno de los subcriterios (Vintr, Petricek and Kaunas Univ 2006)³⁴.

³⁴ VINTR, Z., O. PETRICEK AND T. KAUNAS UNIV. A method of expert evaluation of technical parameters of military vehicles. In *10th International Conference on Transport Means*. Kaunas Univ. Technol, Kaunas, LITHUANIA: Kaunas Univ Technology Press, 2006, p. 37-40.

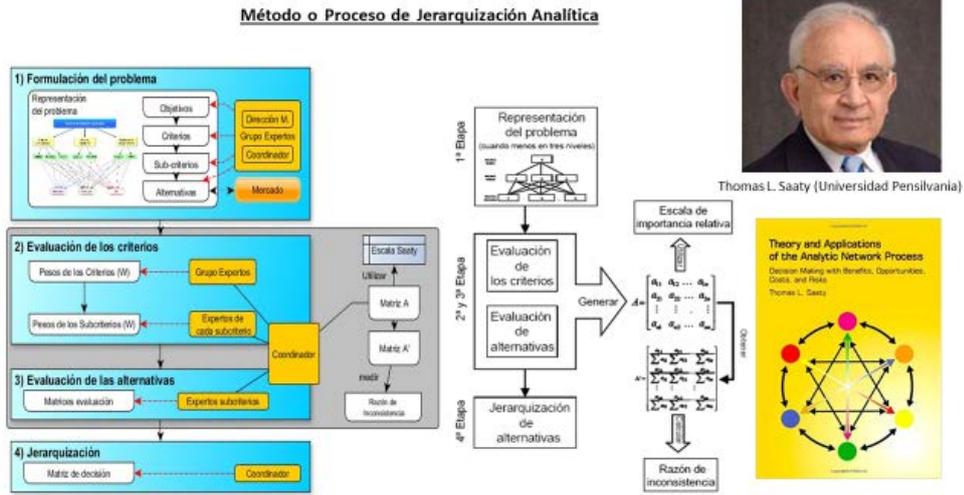


Figura 13. Método AHP o Saaty (UNIZAR, Máster Adquisiciones de Defensa)

Los expertos han decidido ponderar el criterio de propulsión y plataforma por encima de las armas y, dentro de los subcriterios, el ruido, el sistema AIP están por encima del resto. Esto no quiere decir que el resto no sean importantes, pero sí que son menos influyentes a la hora de evaluar los distintos submarinos.

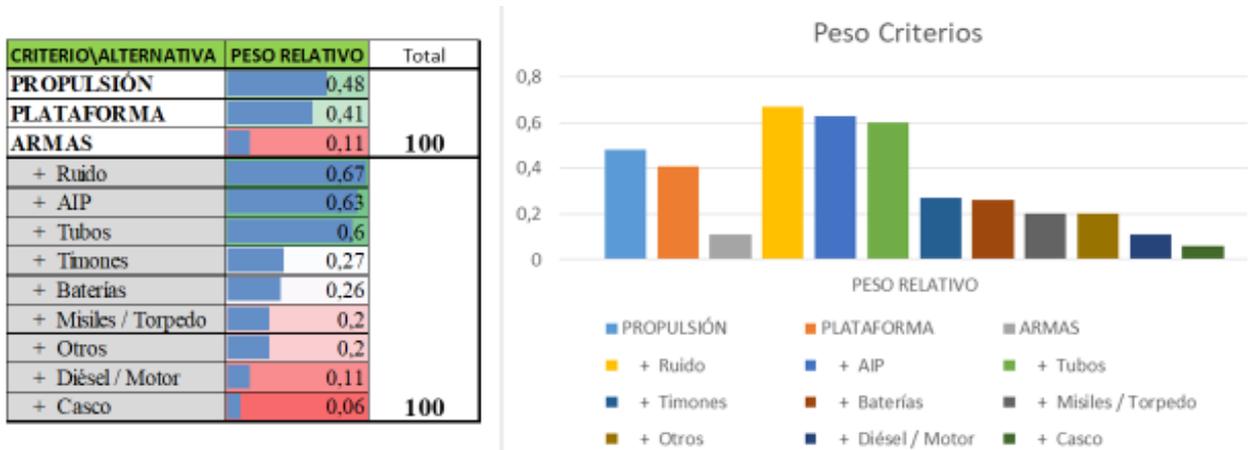


Tabla 2. Peso de los criterios (Elaboración autor)

Una vez evaluados los criterios y subcriterios, se han hecho las comparaciones por parejas, cruzándose todos los submarinos, siempre uno a uno, escogiendo, según el método, cinco valores: «1» cuando tienen la misma preferencia o valor, «3» cuando uno es ligeramente superior, «5» algo mayor, «7» mucho mayor y «9» extremadamente superior.

Mísiles / Torpedo							
	Yuan 041	Kilo 636	A-26	Souryu	Shortfin Barracuda	U-212	S-80
Yuan 041	1	1/3	5	5	3	5	3
Kilo 636	3	1	7	7	5	7	5
A-26	1/5	1/7	1	5	1/3	1	1/3
Souryu	1/5	1/7	1/5	1	1/3	1	1/3
Shortfin Barracuda	1/3	1/5	3	3	1	3	1
U-212	1/5	1/7	1	1	1/3	1	1/3
S-80	1/3	1/5	3	3	1	3	1

Casco							
	Yuan 041	Kilo 636	A-26	Souryu	Shortfin Barracuda	U-212	S-80
Yuan 041	1	1	1/3	1/5	1/3	1/3	1/3
Kilo 636	1	1	1/3	1/5	1/3	1/3	1/3
A-26	3	3	1	1/3	1	1	1
Souryu	5	5	3	1	3	3	3
Shortfin Barracuda	3	3	1	1/3	1	1	1
U-212	3	3	1	1/3	1	1	1
S-80	3	3	1	1/3	1	1	1

Diésel / Motor							
	Yuan 041	Kilo 636	A-26	Souryu	Shortfin Barracuda	U-212	S-80
Yuan 041	1	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3
Kilo 636	3	1	1	1	1	3	1
A-26	3	1	1	1	1	3	1
Souryu	3	1	1	1	1	3	1
Shortfin Barracuda	3	1	1	1	1	3	1
U-212	3	1	1	1	1	3	1
S-80	3	1	1	1	1	3	1

Tubos							
	Yuan 041	Kilo 636	A-26	Souryu	Shortfin Barracuda	U-212	S-80
Yuan 041	1	1	5	1	5	3	1
Kilo 636	1	1	5	1	5	3	1
A-26	1/5	1/5	1	1/5	1	1/3	1/3
Souryu	1	1	5	1	5	3	1
Shortfin Barracuda	1/5	1/5	1	1/5	1	1/3	1/3
U-212	1/5	1/5	1	1/5	1	1/3	1/3
S-80	1	1	5	1	5	3	1

Otros							
	Yuan 041	Kilo 636	A-26	Souryu	Shortfin Barracuda	U-212	S-80
Yuan 041	1	1	1	1/3	1/5	1/5	1/5
Kilo 636	1	1	1	1/3	1/5	1/5	1/5
A-26	1	1	1	1/3	1/5	1/5	1/5
Souryu	3	3	3	1	3/3	1/3	1/3
Shortfin Barracuda	5	5	5	3	1	1	1
U-212	5	5	5	3	1	1	1
S-80	5	5	5	3	1	1	1

Tabla 3. Matriz de valoraciones de los expertos (Elaboración autor)

Estas valoraciones, ponderadas con los pesos obtenidos en la primera etapa y sumadas todos los subcriterios por cada submarino nos llevan a la siguiente tabla:

CRITERIO\ALTERNATIVA	PESO RELATIVO	Yuan 041	Kilo 636	A-26	Souryu	Shortfin Barracuda	U-212	S-80
ARMAS	0,11	0,18	0,22	0,05	0,16	0,1	0,08	0,2
+ Mísiles / Torpedo	0,2	0,23	0,41	0,07	0,04	0,11	0,04	0,11
+ Tubos	0,6	0,22	0,22	0,04	0,22	0,04	0,04	0,22
+ Otros	0,2	0,05	0,05	0,05	0,11	0,25	0,25	0,25
PLATAFORMA	0,41	0,09	0,2	0,07	0,17	0,13	0,16	0,18
+ Casco	0,06	0,05	0,05	0,14	0,35	0,14	0,14	0,14
+ Timones	0,27	0,23	0,23	0,06	0,06	0,26	0,05	0,12
+ Ruido	0,67	0,04	0,2	0,07	0,2	0,07	0,2	0,2
PROPULSIÓN	0,48	0,04	0,06	0,08	0,15	0,2	0,22	0,23
+ Diésel / Motor	0,11	0,06	0,18	0,18	0,18	0,18	0,06	0,18
+ Baterías	0,26	0,07	0,07	0,07	0,33	0,33	0,07	0,07
+ AIP	0,63	0,03	0,03	0,07	0,07	0,16	0,31	0,31
TOTAL		0,08	0,13	0,08	0,16	0,16	0,18	0,21

Tabla 4. Resultado final de la matriz Saaty (Elaboración autor)

Evaluación de los resultados

Los resultados cuentan con un indicador³⁵ que controla el grado de consistencia de las puntuaciones que hacemos en cada fase del proceso al establecer la importancia relativa entre los elementos de cada nivel. Controla la subjetividad, coherencia y consistencia de los expertos (Caballero Fernández and Romero 2006)³⁶.

$$RI = \frac{IC}{CA}$$

«RI» es la razón de inconsistencia, siendo «IC» el índice de consistencia y «CA» la consistencia aleatoria. Para el cálculo de «CA»³⁷, Saaty propuso la siguiente tabla (Saaty 1977)³⁸:

n Tamaño de la matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CA Consistencia aleatoria	0	0	0.58	0.89	1.11	1.24	1.32	1.40	1.45

Tabla 5. Consistencia aleatoria (Saaty)

El índice de consistencia «IC» se obtiene con la siguiente fórmula:

$$IC = \frac{\lambda \max - n}{n - 1}$$

³⁵ Para el cálculo de los indicadores se ha utilizado un software facilitado por el CUD de Zaragoza, elaborado por el comandante Vázquez Díaz en colaboración con el teniente coronel Ruiz López.

³⁶ CABALLERO FERNÁNDEZ, R. AND C. ROMERO Teoría de la Decisión Multicriterio: un Ejemplo de Revolución Científica Kuhniana. *BEIO, Boletín de Estadística e Investigación Operativa*, 2006, 22(4), 9-15.

³⁷ Algunos autores sugieren la siguiente fórmula para la estimación de «CA»: $CA = 1.98 * \frac{n-2}{n}$

³⁸ SAATY, T. L. SCALING METHOD FOR PRIORITIES IN HIERARCHICAL STRUCTURES. *Journal of Mathematical Psychology*, 1977, 15(3), 234-281.

« λ max» es la desviación de los juicios de nuestros expertos con respecto a la ponderación de sus valoraciones. Estos valores permiten realizar una medida de la consistencia de nuestros expertos a la hora de emitir sus juicios.

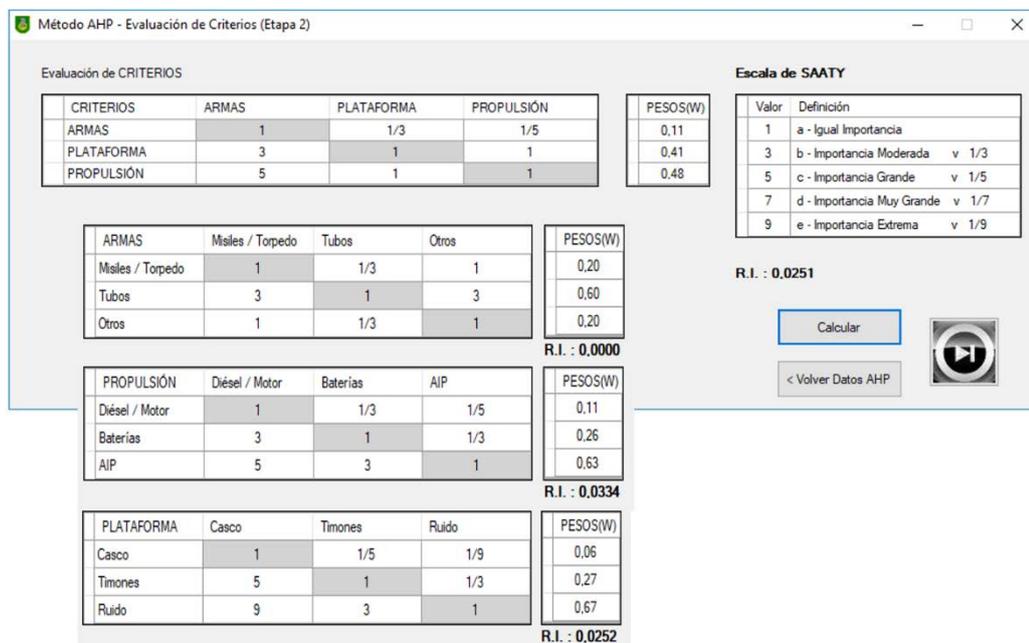


Figura 14. Evaluación de criterios (Elaboración autor)

En general, se considera que para valores de «RI» mayores de 10 % hay presencia de inconsistencia. En nuestro caso, las razones de inconsistencia «RI» han variado entre 0 y el 3 %, pudiendo determinar que nuestros expertos han sido coherentes en sus valoraciones.

Si realizamos el mismo proceso para la etapa tres del proceso, la comparativa de los 7 submarinos, vemos que vuelven a ser coherentes al obtener datos de «RI» entre 0 y el 6 %. Se observa que se ha evaluado de forma conservadora, oscilando entre el 3 y el 5, algún esporádico 7 y muy pocos 9.

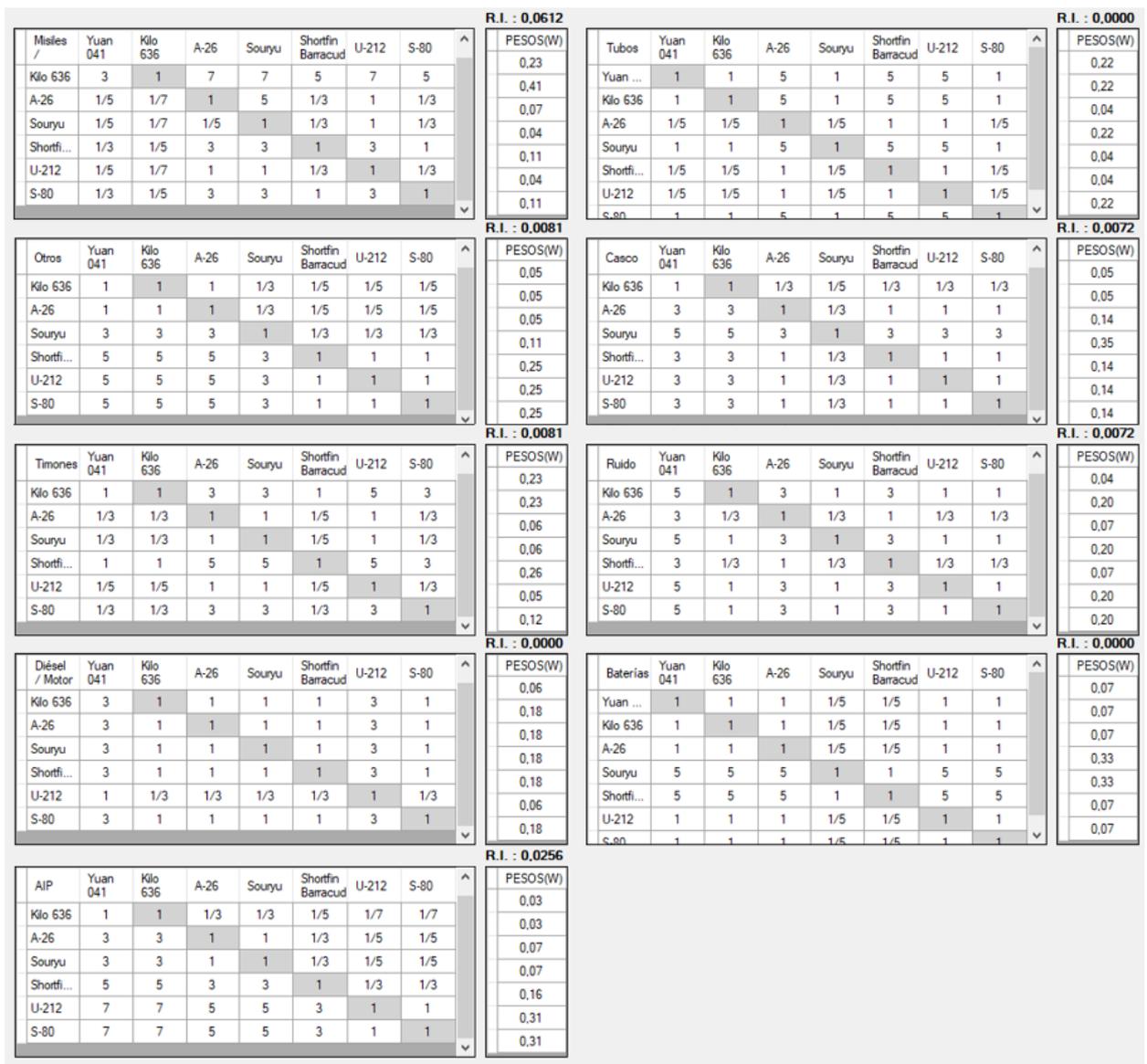


Figura 15. Datos de «RI» en la comparativa por submarino (Elaboración autor)

El resultado final es que los expertos prefieren al S-80 con un 21 %, seguido de cerca por el U-212 con un 18 %, después el Souryu y el Shortfin Barracuda, ambos en tercer lugar, con un 16 %.

Si hacemos una valoración de los subcriterios con su peso y los valores obtenidos, vemos que, excepto el AIP y la propulsión, los datos del S-80 están en la parte alta, sin llegar a máximos, pero manteniéndose siempre en el 10 % más elevado.

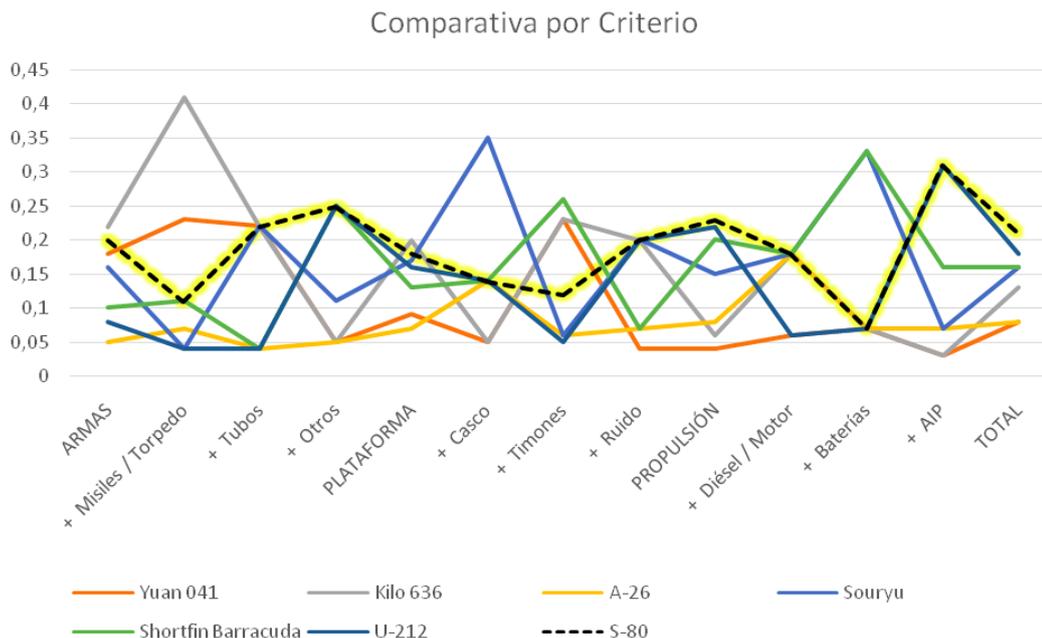


Figura 16. Gráfico comparativo por criterio/alternativa (Elaboración autor)

Se observa que la ponderación de los subcriterios tubos, ruido y AIP ha sido también decisiva para posicionar al S-80 en primer lugar. Esa ponderación, sumada a las valoraciones obtenidas en los subcriterios con mayor peso, ha permitido que el S-80 estuviera ligeramente por delante del U-212.

CRITERIO\ALTERNATIVA	PESO RELATIVO	Yuan 041	Kilo 636	A-26	Souryu	Shortfin Barracuda	U-212	S-80
ARMAS	0,11	0,18	0,22	0,05	0,16	0,1	0,08	0,2
+ Misiles / Torpedo	0,2	0,23	0,41	0,07	0,04	0,11	0,04	0,11
+ Tubos	0,6	0,22	0,22	0,04	0,22	0,04	0,04	0,22
+ Otros	0,2	0,05	0,05	0,05	0,11	0,25	0,25	0,25
PLATAFORMA	0,41	0,09	0,2	0,07	0,17	0,13	0,16	0,18
+ Casco	0,06	0,05	0,05	0,14	0,35	0,14	0,14	0,14
+ Timones	0,27	0,23	0,23	0,06	0,06	0,26	0,05	0,12
+ Ruido	0,67	0,04	0,2	0,07	0,2	0,07	0,2	0,2
PROPULSIÓN	0,48	0,04	0,06	0,08	0,15	0,2	0,22	0,23
+ Diésel / Motor	0,11	0,06	0,18	0,18	0,18	0,18	0,06	0,18
+ Baterías	0,26	0,07	0,07	0,07	0,33	0,33	0,07	0,07
+ AIP	0,63	0,03	0,03	0,07	0,07	0,16	0,31	0,31
TOTAL		0,08	0,13	0,08	0,16	0,16	0,18	0,21

Tabla 6. Comparativa resaltando valores mayores y menores (Elaboración autor)

Si optáramos por aprovechar este estudio para ver los puntos fuertes y débiles del S-80, podríamos hacer una variante con algunas mejoras, por ejemplo, plantear la opción de timones en cruz y timones retractiles.

Otro cambio que también mejoraría el resultado serían las baterías de litio en vez de las de plomo-ácido que actualmente monta el S-80. La clase Souryu, única que monta actualmente este tipo de baterías, ha obtenido muy buena nota y muestra el camino a seguir. Seguramente el Shortfin Barracuda, proyecto más retrasado, salga ya con este tipo de baterías.

Por último, como inconvenientes a este estudio, se echa en falta valoraciones del mantenimiento de los submarinos, la independencia tecnológica de las empresas, la experiencia en otros proyectos y, por último, el valor comercial de las empresas.

Conclusiones

La evolución del mercado de submarinos convencionales en los últimos años hace presagiar un futuro prometedor a Navantia. Las características del S-80, la colaboración de Navantia con Electric Boat y el empleo de los sistemas más modernos en el S-80 hacen de él un buen candidato para la exportación.

Navantia ha hecho los deberes, tiene posibilidades de volver con fuerza a este exclusivo mercado. Pero no nos engañemos, no se deben confiar. La venta de armamento muchas veces está ligada a la política y sus competidores harán lo imposible por llevarse los contratos. Esto se ha podido ver en Australia con Bae Systems y el caso de las fragatas³⁹ o Naval Group y el Barracuda⁴⁰.

³⁹ La británica BAE Systems arrebató a Navantia el contrato de 22.000 millones con Australia. Disponible en: https://www.lavozdegalicia.es/noticia/economia/2018/06/29/britanica-bae-systems-arrebata-navantia-contrato-22000-millones-australia/0003_201806G29P32992.htm (Consulta 17-12-18).

⁴⁰ Francia venderá 12 submarinos a Australia por 34.000 millones (ABC). Disponible en: <http://abcblogs.abc.es/tierra-mar-aire/public/post/francia-australia-submarinos-19649.asp/> (Consulta 17-12-18).

La publicidad y la inteligencia económica de las empresas son áreas muy importantes. Navantia debe cuidarse de noticias como la de fragata noruega KNM HelgeIngstad (F-313)⁴¹. Presionar para que no se publiquen noticias sin contrastar⁴² y no dejarse intimidar con cuestiones falsas como hacen otros constructores⁴³.

Tiene trabajo por hacer si quiere jugar en la «liga de los grandes»: además de cuidar su imagen, debe conseguir el mejor submarino para la Armada española. El desafío es grande, toca finalizar el prototipo y empezar con las pruebas de mar. Debe aprovechar al grupo de expertos submarinistas españoles que probarán el S-80 y trabajar en mejorar el proyecto.

Los mimbres que se utilizan en el diseño del S-80 son los mismos que se han empleado en muchos submarinos nucleares franceses, británicos y norteamericanos. Las capacidades del S-80, el novedoso sistema AIP y el cuidado de la firma acústica, presagian un buen producto, pero hace falta echarlo al agua y probarlo.

Este estudio sirve para replantearse futuras evoluciones, por ejemplo, un submarino más económico y puramente eléctrico, propulsado con baterías de litio de alta capacidad que dé una autonomía de varios días sin hacer *snorkel*.

El método AHP desarrollado por Thomas L. Saaty se muestra como una herramienta muy útil para hacer estos estudios de retrospectiva industrial. El problema es seleccionar bien los criterios, si se eligen mal o no se obtiene una clara diferenciación de las alternativas, nos lleva a estudios poco diferenciados.

⁴¹ Noruega culpa a Navantia del hundimiento de una fragata por un fallo “crítico” de diseño. Disponible en: https://elpais.com/economia/2018/11/29/actualidad/1543515235_003201.html (Consulta 17-12-18).

⁴² No, Noruega, no (Infodefensa). Disponible en: <https://www.infodefensa.com/es/2018/12/05/opinion-noruega.php> (Consulta 17-12-18).

⁴³ La Armada de Estados Unidos ordena parar a toda su flota tras el accidente de Singapur (El País). Disponible en: https://elpais.com/internacional/2017/08/21/actualidad/1503281376_979246.html (Consulta 17-12-18).

El mercado de submarinos está en continua evolución y las empresas deben hacer inteligencia económica para saber qué están haciendo sus competidores. Los submarinos de propulsión nuclear no desaparecerán, tampoco los submarinos convencionales y seguramente al S-80, le seguirá nuevos proyectos que incorporarán alguno de los avances aquí apuntados.

Augusto Conte de los Ríos

Capitán de Fragata de la Armada Española (S)

Máster en Paz, Seguridad y Defensa (IUGM)