Necesidad de mantener vigentes las competencias de navegación tradicional aun cuando el ECDIS sea el método primario

The need to maintain traditional navigation skills even when ECDIS is the primary method

Contralmirante Kurt L. Böttger Garfias. Calificado en Guerra de Superficie, ha desarrollado gran parte de su vida profesional embarcado. Fue Comandante de los siguientes buques: B.A.P. *Marte*, B.A.P. *De Los Heros* y del buque escuela a vela B.A.P. *Unión*. Fue Agregado Naval a la Embajada del Perú en Chile. Como oficial almirante, ha sido Jefe de la Oficina Especial de Proyección de la Base Naval del Callao, Director de Información de la Marina, Director de la Escuela Naval del Perú y, actualmente, se desempeña como Comandante de la Fuerza de Superficie. En el campo académico ha obtenido los siguientes grados y diplomas: Curso para Comandante de Componente Marítimo de Fuerza Combinada (CFMCC) en el Comando Sur EE. UU.; magíster en Estrategia Marítima por la Escuela Superior de Guerra Naval; master of arts en Relaciones Internacionales por la Salve Regina University, EE. UU.; Naval Command College del U.S. Naval War College; magíster en Administración por la Universidad del Pacífico; Comando y Estado Mayor de la Escuela Superior de Guerra Naval; Administración para la Defensa por Centrum Pontificia Universidad Católica del Perú; Gestión de Proyectos Universidad ESAN; International Surface Warfare Officers School. U.S. Navy; Ciencias Marítimo-Navales por la Escuela Naval del Perú. Ha sido profesor en diferentes centros académicos de la Marina de Guerra del Perú, la Escuela Superior Conjunta de las FF. AA. y en el U.S. Naval War College en Newport-EE. UU., la Escuela Naval del Perú, la Escuela de Guerra de Superficie y el Instituto de Educación Superior Tecnológico Público Naval - CITEN.

Resumen: La teoría y la doctrina recomiendan que un navegante prudente nunca debe depender de una sola fuente de información para determinar su navegación. El rápido avance de la tecnología ha permitido el desarrollo y aceptación de herramientas de ayuda a la navegación, como el Sistema de Visualización e Información de Carta Electrónica o ECDIS, que representa una verdadera revolución en la capacidad de compilar, procesar, centralizar y presentar en un interfaz amigable información relevante de una gran cantidad de fuentes en un entorno de carta náutica, que mejora la carga de trabajo y la conciencia situacional del navegante, contribuyendo así a la seguridad de la navegación. Las evidentes bondades del ECDIS han determinado que sea aceptado por los organismos internacionales como el medio primario de navegación y, por lo tanto, haya disminuido la popularidad de las cartas en papel, llegando incluso a dejárselas de imprimir. Pese a los beneficios que trae, el ECDIS presenta la vulnerabilidad crítica de depender de una sola fuente para

determinar posición, el GPS. El GPS, como todo sistema que emplea el espectro electromagnético, es susceptible de fallas o de ataques deliberados para degradar o negar su empleo. Esta vulnerabilidad amerita que los navegantes, en especial de los buques de guerra, mantengan vigentes sus competencias para determinar posición, navegación y tiempo por métodos y fuentes diferentes al GPS, menos expuestos a interferencia.

Palabras clave: navegación tradicional, ECDIS, GPS, seguridad marítima, tecnología de navegación, vulnerabilidad, buques de guerra.

Abstract: *Theory and doctrine recommend that a prudent navigator should never rely on a single source of information to determine their navigation. The rapid advancement of technology has enabled the development and widespread adoption of navigation aids such as the Electronic Chart Display and Information System (ECDIS), which represents a significant revolution in its ability to compile, process, centralize, and present relevant information from a wide variety of sources through a user-friendly interface within a nautical chart environment. This system improves the navigator's workload and situational awareness, thus contributing to the safety of navigation. The clear advantages of ECDIS have led to its acceptance by international organizations as the primary means of navigation, significantly reducing the use of paper charts, to the point where their printing has been phased out. However, despite its benefits, ECDIS carries the critical vulnerability of relying on a single source, GPS, to determine position. GPS, like any system using the electromagnetic spectrum, is susceptible to failure or deliberate attacks aimed at degrading or denying its use. This vulnerability necessitates that navigators, especially on warships, maintain proficiency in determining position, navigation, and time using methods and sources other than GPS, which are less prone to interference.*

Keywords: *traditional navigation, ECDIS, GPS, maritime safety, navigation technology, vulnerability, warships.*

"La mar es aficionada con unos y apasionada con otros".

Refrán popular

"La navegación comenzó con el primer hombre", simple frase con la que empieza la primera línea de las mil quinientas veintitrés páginas contenidas en la obra que muchos de los profesionales del mar consideramos es uno de los libros clásicos más influyentes e indispensables en la formación de un navegante, y que, en sus más de dos siglos desde la primera edición, ha

sido fuente obligada de referencia en los puentes de comando: el *American Practical Navigator* o, simplemente, el Bowditch (Bowditch, 2019). Una de las razones por la que este libro ha podido perdurar, con las lógicas actualizaciones producto de los avances de la tecnología, es que su autor original, Nathaniel Bowditch, y los autores de las sucesivas ediciones tuvieron como meta el buscar exponer de la manera más simplificada posible los complejos secretos del arte y ciencia de la navegación, de manera que sean comprensibles y utilizables por hombres de mar, que no necesariamente tuviesen la base de las matemáticas avanzadas que los cálculos para posicionarse requerían. Hoy en día, hemos llegado a la paradoja que ya ni siquiera pareciera ser necesario contar con mínimos o rudimentarios conocimientos matemáticos o de la ciencia de la navegación, pues la tecnología ha reemplazado al tradicional y respetado oficio de navegante por un simple operador o usuario de herramientas de *software,* quien podría, incluso, darse la vuelta al mundo navegando sin reconocer en su trayecto siquiera un solo punto conspicuo o realizar cálculo alguno.

Una vieja, bien establecida e innumerables veces probada, máxima del oficio de marino, y que incluso tiene implicancias legales cuando se trata de determinar responsabilidades en siniestros náuticos, reza: "El navegante prudente nunca depende de una sola fuente de información para determinar su navegación". Esta ha sido la ley del mar desde tiempos inmemoriales. Sin embargo, esta máxima, que se apoya en la ciencia y en el más básico sentido común profesional, hoy en día ya casi no se cumple. Los marinos del mundo están siendo cada vez más en exceso dependientes de los sistemas electrónicos (Frederick, 2018), y recientes tendencias indican que, en un futuro cercano, esta dependencia será aún más marcada y se sostendrá sobre mayoritariamente una única y, por lo tanto, vulnerable fuente de información; y, lo que es peor, las herramientas para aplicar métodos alternativos no estarán ya disponibles y las competencias para hacerlo se habrán inexorablemente atrofiado.

Al referirnos a la dependencia en sistemas de navegación electrónica, nos concentraremos principalmente en el Sistema de Visualización e Información de Carta Electrónica o ECDIS (*Electronic Chart Display and Information System*), sistema que quizás signifique el avance más característico de los tiempos modernos en materia de navegación, virtud de su simplicidad de uso, interfaz hombre-máquina amigable, capacidad de recibir, integrar, procesar y presentar, en una imagen sumaria en una sola pantalla, información de una variedad de diferentes sistemas de ayuda a la navegación, como radares ARPA, GPS, tablas de mareas, ecosondas, anemómetros, girocompás, corredera, AIS, reportes meteorológicos, NAVTEX, reportes de hielo y otros

más (Güneç, 2022). Esta integración con otros proveedores de información y la confiabilidad general de este sistema de sistemas se debe, en gran medida, a la estandarización de protocolos de intercambio de datos, los que son regulados y actualizados por la Organización Hidrográfica Internacional (IHO). Gracias a estos estándares y a su constante actualización, los fabricantes están desarrollando cada vez más y mejores funcionalidades para el ECDIS, con la meta de reducir la carga de trabajo del personal de puente y hacer la navegación marítima más precisa y, al menos en teoría, cada vez más segura (Mellor, 2023).

Además de la ya mencionada IHO, el empleo de cartas de navegación, sus tipos autorizados y cuáles son las obligatorias de llevar a bordo, está normado por el Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS) y por la Organización Marítima Internacional (IMO). De inicialmente mostrarse conservadores y considerar a la carta electrónica como solamente un complemento a los métodos tradicionales de navegación, ambas organizaciones han acompañado el desarrollo tecnológico del ECDIS y gradualmente aceptado a esta herramienta como el medio primario para llevar la navegación. Así, la actual versión del SOLAS en su Capítulo V, Regla 19, establece los requisitos para llevar a bordo sistemas y equipos de navegación, determinando que es obligatorio para todo buque, sin importar su tamaño, el tener cartas náuticas y publicaciones para planificar y presentar la ruta del viaje, y plotear y monitorear las posiciones a lo largo de él. Mediante esta regla, SOLAS acepta al Sistema de Visualización e Información de Carta Electrónica (ECDIS) como un medio que cumple a cabalidad con los requisitos requeridos. La Regla 19 continúa aclarando que "un paquete apropiado de cartas náuticas de papel *puede* ser empleado como respaldo para el ECDIS" (IHO, 2020). Por su parte, la Organización Marítima Internacional (IMO), estableció, desde julio del 2018, la obligatoriedad de contar con el ECDIS en uso a bordo para la mayor parte de las naves comerciales en viajes internacionales. La implementación de esta normativa y la popularidad de los ECDIS en la comunidad marítima ha significado una dramática reducción en las ventas de cartas tradicionales en papel, lo que ha hecho que su fabricación ya no sea rentable y muchos especialistas estén anunciando el fin de la carta de papel (Harmon, 2022). Como confirmando lo imparable de esta tendencia, dos de las principales y referentes autoridades cartográficas del mundo están abandonando el formato impreso. Así, la Oficina Hidrográfica del Reino Unido (*UK Hydrographic Office* UKHO) anunció, en julio del 2022, que después de más de dos siglos dejaría de imprimir las cartas y avisos a los navegantes del almirantazgo en papel, aunque luego de un tiempo, según se reporta,

debido a la presión de los usuarios, amplió el plazo límite para este cambio hasta el 2030 (Stickland, 2023). Por su parte, al otro lado del Atlántico, en los Estados Unidos, la Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica (NOAA) ha comunicado a sus usuarios que ya no publicará cartas físicas y se concentrará, a partir de ahora, solo en emitir cartas en formato electrónico (NOAA, 2019).

Fundamental al éxito comercial del ECDIS, que ha permitido su rápida expansión y consolidación como herramienta primaria para la navegación marítima a lo largo del mundo, se encuentra el hecho de que este sistema presenta automáticamente con precisión y actualizada en tiempo real la posición de la nave. Esta bondad —o potencial vulnerabilidad— se debe a que para su funcionamiento depende de la data que le proporciona, a través de una señal de radiofrecuencia, un Sistema Global de Navegación Satelital (GNSS). Estos sistemas consisten en una constelación de satélites artificiales orbitando la Tierra, que transmiten señales que permiten, de manera básica, determinar posición, navegación y cronometría (*Position, Navigation, and Timing*, PNT) (IMO, s.f.). Si bien no es el único sistema de este tipo disponible en el mundo, el Sistema de Posicionamiento Global, o simplemente GPS, es el más conocido y, se podría decir, es hasta omnipresente. Otros GNSS actuales son los siguientes: GLONASS, operado por Rusia; el Galileo, de la Unión Europea; el BeiDou chino; el NavIC, de la India, con un alcance principalmente circunscrito a los intereses regionales de ese país; y, por último, el japonés QZSS (*Quasi-Zenith Satellite System*), limitado a las inmediaciones de ese país archipiélago (Verlaine Global Navigation Satellite System, s. f.).

El GPS, en su forma rudimentaria, nació casi con la era espacial, cuando se identificó la posibilidad de explotar señales transmitidas por satélites artificiales en el espacio para el guiado con precisión de armas, principalmente misiles balísticos intercontinentales. Aunque en su canal militar había sido usado extensivamente y con éxito en las campañas "Escudo del Desierto" y "Tormenta del Desierto" a inicios de la década del 90, el sistema llegó a su madurez al alcanzar sus capacidades operativas completas el 27 de abril de 1995 (Baker, 2020). Este hito y la posterior decisión del presidente Clinton de retirar el error aleatorio introducido (Select Availability o SA) para uso civil, sumado a la revolución de la informática y las comunicaciones, permitió una explosión de usos y aplicaciones que expandían *ad infinitum* las posibilidades que este confiable y preciso sistema otorgaba. La ubicuidad actual de la información proporcionada por el GPS en casi toda actividad de la vida moderna, y quizás porque su desarrollo se dio en lo que algunos han llamado la *"pax americana"*, en la que la integridad general y supervivencia

del GPS no ha sido mayormente desafiada ante la ausencia de potencias competidoras equiparadas a los Estados Unidos (EE.UU.), ha ocasionado una falsa sensación de seguridad, como que algunos consideren que la disponibilidad de este sistema es algo natural y que siempre estará ahí, como el Sol y las estrellas. Nada más alejado de la realidad.

Como nos lo enseña la historia de la guerra electrónica, siempre que se ha desplegado un medio que otorga una capacidad ventajosa, el adversario eventualmente desarrollará una contramedida para neutralizar esta ventaja. El empleo de contramedidas para afectar sistemas electrónicos de navegación no es para nada nuevo. Durante la batalla de Inglaterra es conocido el esfuerzo británico (apodado la "batalla de los haces") por interferir y engañar a los sistemas de radionavegación de la Luftwaffe. La práctica es tan vigente que la doctrina militar le ha asignado una denominación específica: Guerra de Navegación (*Navigational Warfare*, NAVWAR) como una subclasificación dentro de la guerra electrónica. NAVWAR se define como las "acciones defensivas y ofensivas deliberadas para asegurar o prevenir el uso de la información PNT a través del empleo de operaciones en el espacio, ciberespacio o de guerra electrónica" (Thornton, 2023).

En tiempos más recientes, coincidiendo con la "presentación en sociedad" del GPS en la guerra del Golfo de 1990-1991, los iraquís realizaron acciones de NAVWAR mediante el empleo de interferidores para afectar la precisión de las señales de GPS (Walker, 2012). Desde entonces, las medidas para degradar las señales de los GNSS son una práctica militar bastante difundida y que se ha visto empleada con cada vez mayor regularidad en los recientes y actuales conflictos bélicos (Bronw, s.f). La proliferación y cada vez mayor protagonismo en el campo de batalla de vehículos autónomos no tripulados en los diferentes dominios, cuya capacidad de navegación descansa principalmente en las bondades que le proporciona la data PNT de un GNSS, ha dado sin duda un renovado impulso a la carrera por desarrollar contramedidas para neutralizar estos medios (Zhang, 2017).

Estas tácticas ofensivas de NAVWAR suelen tomar alguna de las siguientes modalidades: interferencia (*jamming*), suplantación (*spoofing*) y ciberataques (Cheze, s.f).

La interferencia de señales (*signal jamming*) consiste en el empleo de ruido electromagnético en la misma frecuencia que la del GNSS para saturar el receptor y hacer que las señales, por lo general bastante débiles al llegar a la Tierra, no sean distinguibles y utilizables para determinar PNT. Este

método es particularmente útil para afectar los aparatos de estándar no militar sin encriptación de uso civil, como los que encontramos en la mayoría de ECDIS comerciales.

Spoofing requiere un poco más de sofisticación, aunque ha sido demostrado en los hechos que es posible efectuarlo. Consiste en transmitir señales de GNSS con información falsa de manera de engañar al sistema de navegación con un cálculo de posición, tiempo u otro dato de navegación erróneo.

Hackeo. Los métodos anteriores atacaban o aprovechaban la oportunidad que presenta el uso del espectro de radiofrecuencia por el GNSS; en el caso del denominado *hackeo*, como en cualquier sistema informático, es técnicamente posible realizar ciberataques dirigidos al procesamiento de datos de navegación a nivel *software,* ya sea del GNSS o el medio que explota la información PNT que le proporciona este, por ejemplo, el ECDIS o un sistema de manejo de datos tácticos a bordo.

Como lo explicamos párrafos arriba, en la anteriormente citada normatividad marítima internacional (SOLAS e IMO), que autoriza el ECDIS como medio primario para llevar la navegación marítima, se considera la necesidad de que las naves cuenten con un respaldo en caso de falla del ECDIS, lo que puede darse con un ECDIS alterno dotado con un sistema de alimentación eléctrica independiente y una entrada de recepción de señal de GPS diferente a la de la carta electrónica primaria. Deja la alternativa de que se lleve un portafolio de cartas de papel, pero, como se ha explicado, esta previsión pronto será letra muerta dado que es de anticiparse que las autoridades cartográficas de otras partes del mundo sigan el ejemplo de la NOAA y la UKHO y se suspenda la producción de estas ayudas a la navegación.

El lector atento habrá identificado ya, el principal problema que constituye una verdadera y peligrosa vulnerabilidad crítica[1] del ECDIS y, por lo tanto, del estado de la conducción de la navegación marítima mundial actual. En lo que parece ser una abierta contradicción a la más elemental máxima de la práctica marinera, los actuales navegantes están dependiendo casi exclusivamente de una sola fuente para posicionarse y llevar la navegación, el GPS. Una fuente que por su propia naturaleza está sujeta a fallas de material, degradación por efectos atmosféricos o es vulnerable a ser neutralizada, interferida o atacada.

---

1 *(Strange, 2005): Critical Vulnerability: requirements or components thereof which are deficient, or vulnerable to neutralization, interdiction or attack (moral/physical harm) in a manner achieving decisive results - the smaller the resources and effort applied and the smaller the risk and cost, the better.*

El problema se agrava cuando consideramos que los métodos tradicionales de determinación de la posición y navegación bastantes más trabajosos y lentos son pobres competidores ante un ECDIS sumamente amigable al usuario, de operación sencilla y fácil de aprender, con información accesible, actualizada en tiempo real y con inmediatez de resultados. Esto en el tiempo genera que aun cuando los sistemas formales de educación mantengan la enseñanza de la navegación clásica, en la práctica los hombres de mar vayan perdiendo gradualmente las competencias para utilizar eficientemente los métodos alternos que tradicionalmente insumen una mayor carga de trabajo en un ambiente de por sí demandante como es un puente de navegación. La propia IHO, en un estudio recientemente publicado, encontró que, en un número de casos significativos, en los buques que empleaban cartas de papel como respaldo, la posición ploteada en estas cartas era tomada casi en su totalidad del ECDIS o del GPS (IHO, 2020). Como evidencia anecdótica, este autor, como evaluador en el simulador de navegación, puede referir cómo los oficiales de guardia en entrenamiento al serles introducidas como parte de la simulación discrepancias significativas en la situación observada, mayoritariamente preferían guiarse por lo indicado en el ECDIS sin cuestionar esta discrepancia y sin descartar el error a través de la comparación de otras ayudas a la navegación, como el radar y observaciones visuales. De igual manera, en los casos que se exige la determinación de la posición por métodos astronómicos, se encontró que mayoritariamente el dato horario para los cálculos provenía no de un cronómetro convencional, sino de la información del GPS; nuevamente, la tendencia a depender solamente de esta fuente vuelve a hacerse evidente.

Si esta dependencia casi absoluta en la información de PNT proporcionada por un GNSS, como el GPS, es lamentable y en extremo riesgosa para la navegación comercial, para una marina de guerra caer en esta dependencia es poco menos que negligente. Por su naturaleza misma, un buque de guerra debe asumir que su modo normal de operación será en un ambiente operacional multidominio hostil o adverso, en el que entidades inteligentes deliberadamente buscan neutralizarlo o impedir que cumpla con su misión. La división entre los tiempos de guerra y de paz es cada vez más difusa, y en algunos dominios, como el ciberespacio, esta división es casi inexistente. Como casos de estudios recientes lo demuestran, es relativamente fácil, barato y potencialmente con altos réditos para un agente hostil estatal o no estatal causar efectos afectando o interviniendo las señales PNT de un blanco puntual o un área marítima (Lui, 2021). De manera análoga a lo que sucede en las otras áreas de la guerra naval, también en la NAVWAR el buque de

guerra debe tener la resiliencia para soportar este ambiente hostil y prevalecer en él, manteniendo su capacidad intrínseca de navegación continua, segura y en todo tiempo.

Siendo esto así, el mensaje no es nuevo, es de sentido común, no es otro que el de mantener la exigencia y control de aquellas medidas, técnicas y procedimientos que permitan el cumplimiento del ya citado mantra: "El navegante prudente nunca depende de una sola fuente de información para determinar su navegación".

En primer lugar, deben continuar tomándose las acciones de alistamiento de material e inspecciones, así como la capacitación, entrenamiento y actualización de los operadores, de manera de asegurar la mejor performance posible del que es *de facto* y ahora *de jure* el medio primario para llevar la navegación, el ECDIS y sus sistemas periféricos proveedores y clientes asociados. La redundancia de una consola separada, de alimentación y antena GPS independiente, que recomiendan SOLAS/IMO, es por supuesto válida y obligatoria.

Dicho esto, el navegante debe mantener en todo momento la capacidad de obtener con precisión la posición del buque por medios distintos al GPS y, periódicamente, cruzar información sobre su concordancia. Esta obligación es particularmente más importante en aguas someras o restringidas, donde deben exigirse el cumplimiento de los métodos tradicionales de pilotaje y navegación costera. Se consideran como fuentes alternas de posicionamiento, entre otras, los sistemas de navegación inercial, marcaciones y distancias obtenidas por radar de navegación, cruce de líneas de posición, goniometría de señales de radio, líneas de posición batimétrica (veriles), así como la navegación astronómica (Kohler, 2019). Sobre este último método, es recomendable explorar y validar el uso de aplicaciones que simplifiquen la carga de trabajo y reduzcan los típicos errores por toma de datos o de cálculo matemático.

Asimismo, un elemento crítico para una resiliencia en cuanto a la seguridad de la navegación es el mantener una fuente para la determinación precisa del tiempo independiente del GPS, como son los cronómetros náuticos y su registro diario de errores.

Una consideración para tener en cuenta es que, las fuentes alternas o tradicionales para obtener posición, antes mencionadas, para poder ser empleadas con seguridad y precisión requieren que el navegante tenga conocimientos, habilidades y aptitudes, que se logran solo a través de capacitación y práctica constante; asimismo, se requiere contar con los

instrumentos adecuados y calibrados por personal competente. El esfuerzo requerido no es poca cosa. Aun en los tiempos pre-GPS sin la "competencia" de una herramienta tan fascinante como es el ECDIS, el lograr un equipo de puente bien entrenado, que domine las diferentes variables del arte de la navegación, era un reto; hoy, es entendible que este reto presente desafíos adicionales. La organización en general y los comandos deben, por lo tanto, retomar la exigencia de la capacitación y el entrenamiento y considerar su verificación y evaluación en las inspecciones operativas.

No se piense ni por un momento que este artículo profesa una tecnofobia o una terca añoranza nostálgica de la navegación tradicional. Por el contrario, la tecnología moderna en el campo de la navegación, como es el ECDIS, innegablemente ha demostrado ser de gran utilidad, versátil y práctica, además de poner funcionalidades al alcance de la mano del navegante común, que antes probablemente serían impensables por su complejidad. Debe continuarse, con el mayor de los esfuerzos, en sacar el mejor provecho posible a la tecnología y seguir perfeccionando esta. Así como se resalta las enormes bondades y contribución positiva de esta tecnología, también es necesario resaltar la vulnerabilidad que genera y, una vez siendo conscientes de este riesgo, tomar lo mejor de los dos mundos, el de la modernidad y el de la tradición, para asegurar que, aun en condiciones adversas, el navegante de un buque de guerra podrá mantener su unidad en aguas seguras para cumplir con su misión.

Referencias

1. Baker, B. (21 de Julio de 2020). *A position in history: 25 year of GPS*. Obtenido de airforce-technology.com/features/a-position-in-history-25-years-of-gps/
2. Bhatti, j. (07 de Mayo de 2017). *Hostile Control of shps via False GPS Signals: Demostration and Detection*. Obtenido de onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/navi.183
3. Bowditch, N. (2019). *American Practical Navigator*. Virginia: National Geospatial-Intelligence Agency.
4. Bronw, A. E. (s.f). *The price of precision: The risk and rewards of GPS in the Age of Navigation Warfare*.
5. Bureau Hidrográfico Internacional MONACO. (2010). *S-66 las cartas electronicas de navegación y las prescripciones de transporte: hechos*.
6. Cheze, S. (s.f). *Navwar threats: how to protect naval operations*. Obtenido de safran-navigation-timing.com/navwar-threats-how-to-protect-naval-operations/

7. Frederick, D. (Setiembre de 2018). *Professional mariners cannot rely on electronics alone*. Obtenido de https://www.usni.org/magazines/proceedings/2018/september/professional-mariners-cannot-rely-electronics-alone
8. Güneç, Ç. B. (30 de Agosto de 2022). *Replacement of paper charts with electronic display system - ECDIS on Merchant*. Obtenido de researchgate.net/publication/225474581_An_Electronic_Chart_Display_and_Information_System
9. Harmon, C. (31 de Mayo de 2022). *THE END OF TRADITIONAL PAPER CHARTS: THE FINAL TRANSITION TO ELECTRONIC NAVIGATIONAL CHARTS*. Obtenido de https://ihr.iho.int/articles/the-end-of-traditional-paper-charts-the-final-transition-to-electronic-navigational-charts/
10. IHO. (2020). *The Future of the Paper Nautical Chart Final Report*.
11. IMO. (s.f.). *Electronic Nautical Charts (ENC) and Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS)*.
12. Jafarnia-Jahromi, A. A.-J. (2012). *GPS Vulnerability to Spoofing Threats and a Review of Antispoofing Techniques*. Elena Lohan.
13. Kohler, M. J. (2019). *Positioning, navigation and timing policy*.
14. Lui, z. (18 de 2021). *Position and time deception based on satellite navigation technology and experimental verification*.
15. Mellor, T. (24 de Mayo de 2023). *S-57 to S-101: explaning the IHO standards for ECDIS*. Obtenido de ADMIRALTY Maritime Data Solutions: admiralty.co.uk/news/s-57-s-101-explaining-ih-standards-ecdis
16. NOAA. (2019). *Adiós a las cartas náuticas tradicionales*. Obtenido de nauticalcharts.noaa.gov/charts/farewell-to-traditional-nautical-charts.html
17. Rhodes, J. (26 de Julio de 2005). *U.S. Navy Announces Plans to Convert Fleet to 'Paperless' Navigation*.
18. Schvindlerman, J. (24 de Febrero de 2022). *CLUBLD*. Obtenido de ¿Adios a la "Pax Amerciana"?: cliblibertaddigital.com/ideas/tribuna/2022-02-2024/julian-schvindlerman-adios-a-la-pax-americana-6869548/
19. Stickland, K. (3 de Febrero de 2023). *Withdrawal of Admiralty paper charts delayed until 20302023*.
20. Strange, J. (2005). *Centers of gravity and critical vulnerabilities*.
21. Thornton, W. (4 de Diciembre de 2023). *Ospirent*. Obtenido de What is NAVWar and How does it differ fron electronic warfare?: spirent.com/blogs/what-is-navwar-and-how-does-it-differ-from-electronic-warfare
22. Trussler, j. E. (07 de Agosto de 2020). *American´s Navy*. Obtenido de NAVADIMS: navy.mil/Resouces/NAVADMINs/Message/Article/2315575/transition-ti-electronic-navigational-chart
23. Verlaine, P. (s.f.). *BeiDou Navigation Satellite System (china)*. Obtenido de novatel.com/an-introduction-to-gnss/gnss-constellations/beidou
24. Verlaine, P. (s.f.). *Galileo, (European Union)*. Obtenido de Hexagon: novatel.com/an-intorduction-to-gnss/gnss-constellations/galileo
25. Verlaine, P. (s.f.). *GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM*. Obtenido de HEXAGON: novatel.com/an-introduction-to-gnss/gnss-constellations/glonass
26. Verlaine, P. (s.f.). *NavlC (navigation with Indian Constellation), India*. Obtenido de Hexagon: novatel.

com(an-introduction-to-gnss/gnss-constellations/navic
27. Verlaine, P. (s.f.). *QZSS (quasi-Zenith Satellite Systm) , Japan*. Obtenido de Hexagon: novatel.com/an-introduction-to-gnss7gnss-constellations/qzss
28. Walker, J. (27 de Octubre de 2012). *Global Positioning System History*. Obtenido de nasa.gov/general7global-positioning-system-history/
29. Zhang, t. (4 de octubre de 2017). *Strategic defense against deceptive civilian GPS spoofing of unmanned aerial vehicles*. Obtenido de springer link: link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-68711-7_12