

DESARROLLO DE UN ADIESTRADOR DE NAVEGACIÓN PARA INCREMENTAR LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL

Capitán de Navío Eduardo I. Llambí



«Dime y lo olvido,
enséñame y lo recuerdo,
involúcrame y lo aprendo»
—Benjamín Franklin

Los simuladores proporcionan una experiencia virtual, intensa e inmersiva, actualmente caracterizada por una elevada fidelidad en la réplica de la situación real. Su utilidad radica en que permite recrear, en un medio virtual, actividades propias del quehacer cotidiano, lo cual facilita, mediante el involucramiento del individuo, la comprensión y la asimilación del conocimiento que se desea impartir. Estas tecnologías son utilizadas de manera eficaz para satisfacer las necesidades de formación, que requieren adquisición de destrezas en el cumplimiento de tareas, familiarización de procesos, evaluación de situaciones y toma de decisiones, así como también colaboran en el desarrollo de muchas otras habilidades, individuales y de conjunto, propias de cada profesión.

En particular, en el ámbito marítimo, quien ejerce la conducción de un buque se enfrenta continuamente a realidades cambiantes, en donde repentinamente una navegación o maniobra de rutina puede pasar a una situación de probable siniestro. Los errores humanos tienen costes elevados en recursos de personal, materiales y, en ocasiones, ambientales. El adiestramiento con el uso de simuladores da la oportunidad de ejercitar toda clase de habilidades y de capacitar a las tripulaciones para operar con altos niveles de eficiencia y seguridad.

El costo asociado a un simulador, comparado con el valor de asimilación del mismo aprendizaje a bordo, es considerablemente menor; a pesar de ello, en ocasiones nos encontramos que la falta de una política idónea para su correcta incorporación, el desconocimiento de su verdadero potencial y la escasez de presupuesto no permiten disponer de esta herramienta en la medida que es deseable.

Ante esta realidad, me propuse crear una alternativa a los sistemas de simulación actuales, con la creencia de que sistemas más simples y económicos pueden cumplir las necesidades prácticas para el aprendizaje náutico y el adiestramiento de los *team* de puente de una embarcación. En este artículo, se describirá cómo fue viable desarrollar un recurso didáctico para el adiestramiento náutico y cuál fue la experiencia de su uso, con el objetivo de aumentar la confiabilidad operacional a bordo de las unidades de una Armada.

Antes de encarar el proceso de construcción de la herramienta, que se denominó ADINAV (Adiestrador de Navegación), es intención enumerar algunos conceptos básicos y definiciones sobre el proceso de aprendizaje, la confiabilidad operacional y el error humano.

El proceso de aprendizaje

Un simulador nos posibilita plantear el aprendizaje como parte de un proceso, en el que el alumno es el centro y se involucra integrando el conocimiento técnico a sus experiencias personales. Esto arroja como resultado un individuo más capacitado y menos propenso a cometer errores, lo que derrama en lo pretendido, que es aumentar la confiabilidad operacional.

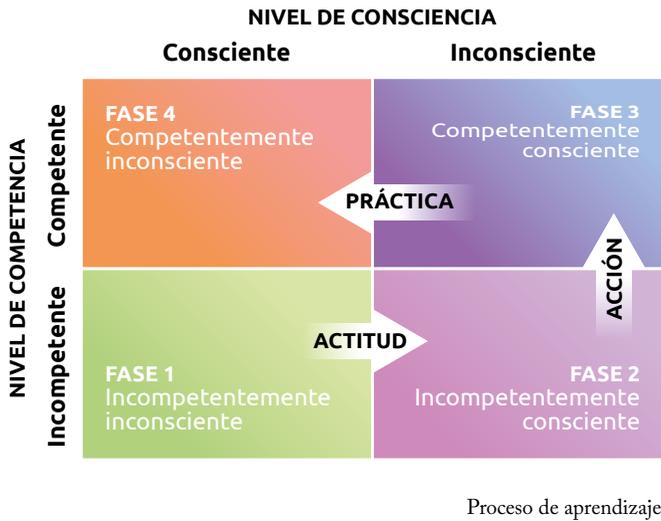
El Capitán de Navío Eduardo Ignacio Llambí nació en la Base Naval Puerto Belgrano en el año 1970. Ingresó en la Armada el 24 de enero de 1989 como cadete del cuerpo Comando Naval y egresó como Guardiamarina en 1992 (Promoción 122). Es licenciado en Sistemas Navales y especialista en Estrategia Operacional y Planeamiento Militar Conjunto. Tiene la Capacitación de Analista Operativo.

Durante su carrera se desempeñó en distintas unidades, como destructores, corbetas, patrulleros y lanchas. Comandó la lancha patrullera ARA *Zurubí*, la lancha patrullera ARA *Clorinda*, el patrullero ARA *Murature*, la corbeta ARA *Espora* y el Comando de Transportes Navales.

Se desempeñó como oficial instructor en la Escuela Naval Militar, la fragata *Libertad*, la Misión de Instrucción Argentina en la República del Paraguay y en la Escuela de Guerra Naval. Actualmente se desempeña como Director de la Escuela Naval Militar.

Trabajos profesionales: Desarrollo y programación del sistema de asesoramiento para el lanzamiento de misiles Exocet MM38 de la lancha rápida ARA *Intrépida*. Desarrollo y publicación en conjunto con la Secretaría General Naval del Cd Institucional Interactivo Nuestra Armada. Desarrollo y programación del software ATP electrónico (*Allied Maritime Tactical Signal and Maneuvering Book*) para las unidades de la Flota de Mar. Desarrollo y programación de los prototipos del simulador de tiro naval Santa Bárbara y posterior desarrollo del simulador en conjunto con el Servicio de Análisis Operativo Armas y Guerra Electrónica. Desarrollo del adiestrador de navegación ADINAV; por ello, recibió la Mención de Honor del Comandante de la Armada Paraguaya y la Medalla de Honor al Mérito Académico de la Armada Paraguaya.

Una de las teorías que describen cómo se adquieren los conocimientos es la descrita por el Licenciado en Psicología Abraham Maslow, que encuadra el proceso de aprendizaje en fases, que van desde la incompetencia inconsciente hasta la competencia inconsciente, la primera consiste en que el individuo tome conciencia de la necesidad de incorporar ese conocimiento, y la última en que logre automatizarlo mediante la actitud, acción y práctica.



Un simulador nos posibilita plantear el aprendizaje como parte de un proceso, en el que el alumno es el centro y se involucra integrando el conocimiento técnico a sus experiencias personales.

«La compleja formación náutica requiere adquirir conocimientos teóricos y competencias profesionales que se desarrollan en las prácticas situadas... El conocimiento y el aprendizaje se encuentran distribuidos a lo largo de toda la trama de interacción en la estructura. No se atribuyen a una persona, ni a las herramientas empleadas, ni a las tareas, ni a su secuencia, ni al medio: son las mismas relaciones, las interacciones, las que conforman y desarrollan el aprendizaje. Ese desarrollo se da como una forma de comprensión, asimilación (apropiación) y participación en la actividad cultural específica. Es decir, se trata de producciones colectivas, que integran perspectivas y saberes», Capitán de Fragata (R), Capitán de Ultramar y Capitán Fluvial Alberto Gianola Otamendi en su artículo «La didáctica en el empleo de los simuladores marinos» publicado en el *BCNN*, nº 853.

Lo descrito anteriormente se refleja en los programas de capacitación y de adiestramiento creados por la OMI (Organización Marítima Internacional) para la formación de marinos, que como método de aprendizaje, en sus publicaciones, alienta la práctica sobre equipos de simulación, siendo de uso obligatorio, para demostrar competencia en sus cursos de Radar ARPA (*Automatic Radar Plotting Aid*), GMDSS (*Global Maritime Distress and Safety System*) y ECDIS (*Electronic Chart Display and Information System*).

La confiabilidad operacional y los errores humanos

La confiabilidad operacional es la acción sinérgica del equipamiento, el recurso humano y el proceso tecnológico, con el fin de que un sistema técnico complejo cumpla las funciones requeridas en un tiempo y un contexto operacional determinados. Esta se materializa como un indicador que se compone de varios elementos, entre los cuales encontramos: la confiabilidad del diseño, de los equipos, humana y de los procesos. Al situarnos sobre la confiabilidad humana y de los procesos, se observa que la primera está definida por las competencias

Este conjunto repetitivo de vivencias, con determinadas pautas de control, le permiten a un individuo adquirir, mediante un proceso mental, herramientas útiles para poder enfrentar las situaciones imprevistas que le depara el futuro.

Alvin Toffler, en su libro *El shock del futuro*, expresa: «Cada situación es única. Pero, con frecuencia, las situaciones se parecen. En realidad, esto es lo que nos permite aprender de la experiencia. Si cada situación fuese absolutamente nueva, sin el menor parecido con situaciones ya experimentadas, nuestra posibilidad de hacerle frente se vería anulada».

Llevando este concepto a la instrucción de un marino, la formación náutica se construye mediante un conjunto de conocimientos y de prácticas, donde las experiencias repetidas de interrelación, entre las personas y el medio, consolidan el aprendizaje.

individuales en términos de conocimiento, experiencia y habilidades personales, junto a la actitud hacia las tareas y el liderazgo, mientras que la segunda se basa en el conocimiento y el entendimiento de todos los procedimientos relativos a la operación de sistemas y su eficiencia para ejecutarlos a nivel de un conjunto de personas.

Lo opuesto a la confiabilidad operacional se denomina riesgo operacional, y se lo define como toda posible contingencia que pueda provocar pérdidas a causa de errores humanos, procesos internos defectuosos y errores tecnológicos o a raíz de acontecimientos externos.

El error humano, según las estadísticas, está presente en el 90% de las colisiones entre buques. Estos accidentes se producen principalmente por mala comunicación entre los miembros de la tripulación, preocupación centralizada en desperfectos menores, falla en la delegación de tareas, fallas en detectar desvíos a las normas de procedimiento, cambios de guardia incorrectos, con poca transferencia de novedades y de información, entre otras causas.

«El accidente es como algo invisible que estará cerca suyo durante toda su vida. El accidente tiene también mucha paciencia y puede esperar todo el tiempo que sea para aparecer en el peor momento y causar muchos daños. Esto es así porque usted es humano, y los humanos siempre cometemos errores», en *Accidentes en el transporte aeronáutico, marítimo y terrestre*, Víctor Ferrazzano, profesor del área de simuladores de la Escuela Nacional de Náutica.

Otro concepto interesante es el de conciencia situacional, que fue definido por la investigadora estadounidense especialista en factores humanos Mica Endsley como la percepción de los elementos existentes en el entorno, en un volumen de tiempo y de espacio, la comprensión de su significado y la proyección de su estatus en el futuro cercano.

Adquirir el estado de conciencia situacional significa tener una exacta percepción de la situación, ser capaz de reconocer rápidamente un cambio en ella, comprender el impacto que produce el cambio y ser capaz de proyectarla en el futuro cercano. Los altos niveles de conciencia situacional se construyen a partir de una actitud positiva; esta dependerá de la experiencia, la preparación previa, el adiestramiento, la planificación, el estado físico y psicológico, la capacidad de eliminar distracciones, las condiciones de liderazgo, la orientación espacio-temporal y la vigilancia junto al seguimiento de las situaciones. Hoy, los principios de la conciencia situacional se utilizan en el entrenamiento de todas aquellas actividades que se ven sometidas a situaciones de estrés en un entorno de riesgo o en situaciones dinámicas y complejas. La ventaja del adiestramiento en simuladores es que permite la capacitación directamente sobre los componentes de confiabilidad humana y de los procesos, con el objetivo final de

El error humano, según las estadísticas, está presente en el 90% de las colisiones entre buques. Estos accidentes se producen principalmente por fallas de adiestramiento de los miembros de la tripulación.



ejercer a bordo una adecuada barrera de protección ante los posibles futuros riesgos; el estado final deseado es alcanzar en una tripulación un adecuado nivel de conciencia situacional.

La OMI sostiene que un entrenamiento correctamente diseñado impacta en forma significativa en los resultados de las conductas operativas, en situaciones de máxima carga de trabajo o de alto nivel de estrés operativo. Tiene como objetivo que, en aquellas situaciones de emergencia

que puedan presentarse, con un buen entrenamiento sean interpretadas como una «forma más de trabajo», a la cual denomina «filosofía operacional», lo que significa que estará incorporada en la conducta habitual del individuo y será ejecutada en forma espontánea y natural. Esto nos conduce a la competencia inconsciente, cuarta etapa del proceso de aprendizaje de Maslow.

La capacitación, el entrenamiento y la formación de habilidades técnicas tienen como objetivo minimizar los riesgos de los errores humanos. El adiestramiento repetido individual y de conjunto sobre un medio idóneo que replique posibles situaciones reales contribuye significativamente a aumentar la confiabilidad operacional. Para ello, es necesario contar con el recurso didáctico (simuladores) y un plan de adiestramiento que permita operarlos adecuadamente, para implementar un proceso de mejora continua en los equipos de trabajo.

Inicio del desarrollo de un adiestrador de navegación

En el año 2013, con el grado de Capitán de Fragata, fui destinado como Jefe del Departamento Armas y Comunicaciones de la Misión Naval Argentina de Instrucción en la República del Paraguay. Entre otras tareas, me desempeñé como profesor militar de las cátedras de Navegación, Maniobra y Operaciones Navales dictadas para los cadetes de la Escuela Militar, los oficiales del curso de Guardiamarinas y del curso aplicativo en el grado de Teniente de Navío.

Esta designación fue el puntapié inicial para comenzar a bosquejar el concepto de una herramienta que posibilitara la práctica de la navegación. Como antecedente, años atrás, con el grado de Teniente de Navío, había diseñado las bases y participado en el desarrollo, para la Armada Argentina, del simulador de tiro naval Santa Bárbara, que actualmente se encuentra instalado dentro de la Base Naval Puerto Belgrano en el Centro de Instrucción de Técnicas y Tácticas Navales (CITT) y en la Escuela de Oficiales de la Armada (ESOA).

En él, se realizan las prácticas de los cursos que se dictan a Oficiales y a Suboficiales de la especialidad Artillería y se ejecuta el adiestramiento y la certificación de las competencias de los Jefes de Control Tiro y los *Team* de Armas de los buques de la Flota de Mar.

Este simulador tiene la capacidad de recrear un tiro completo: desde la asignación sobre el blanco hasta su reglaje mediante el uso de la técnica de *spotting*. Finalizado el ejercicio, permite su corrección y su análisis.

El simulador Santa Bárbara adiestra a Oficiales y a Suboficiales de la especialidad Artillería y se ejecuta el adiestramiento y la certificación de las competencias de los Jefes de Control Tiro y los *Team* de Armas de los buques de la Flota de Mar.

Simulador de Sistema de Armas y Tiro Naval Santa Bárbara



Sobre él se pueden operar todos los sistemas de tiro que se encuentran a bordo de los destructores y las corbetas, como son: consola cañón, consola de armas y sistemas optrónicos (LIROD y TDS). El reglaje de las salvas se realiza desde la pantalla Bravo de la consola de armas, con medios optrónicos o con el uso de un *spotter* tope o terrestre según la modalidad del tiro.

Su desarrollo se realizó en conjunto con el Servicio de Análisis Operativo Armas y Guerra Electrónica (SIAG) utilizando, en este proyecto, un sistema de programación gráfica en 3d denominado Dark Basic. Desde el año 2000, está operativo en su versión prototipo y, desde 2008, en su versión final. Actualmente, sobre él se capacitan, adiestran y demuestran competencia los conjuntos operativos de armas de las unidades de la Flota de Mar.

Retomando el desafío de comenzar a diseñar una herramienta que facilitara la enseñanza de la navegación, surgió la pregunta: ¿Qué características debía tener ese sistema simulador para que se experimenten los conceptos enseñados en las materias Navegación, Comunicaciones y Maniobra?

Concluí que, para cubrir la práctica profesional de las materias náuticas e incrementar el adiestramiento de los *team* de puente, crear un sistema que emulara una aproximación de la realidad en un ambiente controlado por un instructor sería suficiente para lograr el efecto pretendido.

Esta herramienta debía tener:

- Buques con todo su instrumental, que se desplazaran en el agua con comportamientos físicos análogos a los de una embarcación real.
- Un entorno geográfico en el que se pudieran simular los factores meteorológicos y los relativos al agua.
- Una consola de instructor para generar y controlar ejercicios que simularan las distintas problemáticas del aprendizaje náutico.
- Un sistema de registro para el análisis posterior del ejercicio.

Adopté como guía para la determinación de los requerimientos y la elaboración de los protocolos de prueba lo normado en el STCW (*Standards of Training, Certification, and Watchkeeping*), estándares creados para la formación básica de la gente de mar, acordados a nivel mundial por primera vez en 1978, los cuales, en su Sección A-I/12, describen las normas que rigen el uso de simuladores, que si bien las armadas del mundo no tienen la obligación de cumplir, son una referencia válida para lograr un producto adecuado a las necesidades.

Se tomó en consideración que, para demostrar competencia homologada por la OMI (Organización Marítima Internacional) en los cursos dictados dentro del marco de esa Organización, los simuladores deben pasar por procesos de certificación, a los que no ha sido actualmente sometido este desarrollo. Este requisito es exclusivo a fin de otorgar la aprobación de los cursos de GMDSS, ECDIS y Radar Arpa; sin embargo, la misma organización alienta el uso de otros simuladores para mejorar la calidad del aprendizaje, la instrucción y el adiestramiento, motivo por el cual el desarrollo se limitó a obtener una herramienta de ayuda didáctica que permitiera optimizar el dictado de las materias Navegación y Maniobra y facilitara el adiestramiento de los *team* de puente de las unidades de la Armada.

Proyecto MELIPAL, simulador de navegación instalado en la fragata ARA *Libertad*

Unos años atrás, en 2012, con el grado de Capitán de Corbeta y como Jefe del Departamento Estudios de la fragata ARA *Libertad*, tuve una primera experiencia al instalar dos estaciones de simulación de navegación.

La Organización Marítima Internacional alienta el uso de simuladores para mejorar la calidad del aprendizaje, la instrucción y el adiestramiento.

Estas estaciones fueron el resultado de la incorporación del sistema de enseñanza basado en competencias a los programas de estudio, el cual recomendaba el uso de simuladores para las prácticas profesionales.

Se dotó al buque con el entonces proyecto de simulador de navegación denominado MELIPAL, desarrollado por la empresa INVAP y el Instituto PLADEMA de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. El equipamiento de *hardware* requerido para su instalación fue donado por el Centro Naval y la Asociación de Amigos de la fragata ARA *Libertad*.

El simulador MELIPAL fue instalado en la fragata ARA *Libertad* en el año 2012 con muy buenos resultados para la formación de los Guardiamarinas embarcados, su instalación fue consecuencia de las exigencias del plan de estudios.

Su uso fue extremadamente útil a bordo del buque escuela, ya que permitió incrementar las ejercitaciones prácticas de los Guardiamarinas en Comisión ampliando la cantidad de puentes de comando, sumándole al real dos virtuales, con la particularidad de que estos últimos permitían adiestrarse en situaciones que, en la realidad, ocurrían con baja frecuencia.

Excepcionalmente, ese año el buque escuela vio interrumpido su viaje en la ciudad de Tema, República de Ghana, donde el simulador fue fundamental para completar la formación de los Guardiamarinas embarcados mientras el buque se encontraba impedido de zarpar de puerto. Este proyecto lamentablemente no se terminó de desarrollar y fue un sistema acotado a solamente dos puertos, Puerto Belgrano y Mar del Plata, por lo cual no fue una opción válida para lo que se estaba buscando.



Simulador Melipal –
Fragata ARA *Libertad*

Adiestrador de navegación (ADINAV)

Descartada la opción del MELIPAL y siendo consciente de las limitaciones propias por no disponer de un equipo de trabajo para el desarrollo de un simulador, la búsqueda se orientó a hallar un sistema de base que resolviera las cuestiones comunes a todos los simuladores, tales como:

- Herramientas para crear un entorno geográfico.
- Comandos para programar la física de los buques.
- Herramientas para simular condiciones meteorológicas y de estado de mar.
- Herramientas para incorporar escenarios con objetos y barcos personalizados.
- Un lenguaje de programación para extraer datos y emular protocolos de comunicación entre equipos.
- Un protocolo para la comunicación en red (Ethernet).

Era muy importante que su costo no fuera excesivo y que fuera un sistema robusto y estable, para poder asegurar su continuidad en el tiempo.

Luego de analizar distintas opciones —desde un simulador colaborativo de código abierto denominado Bridge Command programado en el lenguaje C++ hasta un juego como el Ship Simulator que luego derivó en un simulador profesional homologado denominado NAUTIS de la empresa VSTEP, pasando por empresas con prototipos de simuladores en desarrollo— encontré un *software* de la empresa Quality Simulations que cumplía con la mayoría de los requisitos descriptos.

Este tenía las características necesarias para desarrollar sobre él una plataforma educativa de simulación, no tenía un elevado costo en el mercado y contaba con una comunidad de colaboradores que posibilitaban una mejora continua.

Todo lo mencionado, sumado al desarrollo personalizado de escenarios, buques e instrumental náutico, la incorporación de cartografía electrónica, el diseño de una consola de instructor y la elaboración de un catálogo de ejercitaciones, dio lugar a la creación del adiestrador de navegación ADINAV. Su implementación se hizo en varias etapas, y hoy se encuentra instalado en distintas versiones denominadas ADINAV 1, 3 y 5.

Quality Simulations es una empresa que desarrolla software que permite la simulación de entornos virtuales para vehículos aéreos, terrestres y acuáticos.



Oficiales de la Armada Paraguaya utilizando el adiestrador ADINAV

La primera versión fue instalada en el año 2016 y se inauguró con la presencia del Presidente de la Nación de la República del Paraguay Horacio Cartes en el Comando de Institutos Navales de Enseñanza, perteneciente a la Armada paraguaya, y fue operada a través de la Misión Naval Argentina en ese país.

Durante la ceremonia de conmemoración del Día de la Armada paraguaya, ante la presencia del Jefe de Estado Mayor General de la Armada Argentina, Almirante Gastón Fernando Erice, el Vicealmirante Antonio Vallejos Abadía, Comandante en Jefe de la Armada Paraguaya expresó:

«Este simulador es pionero en esta institución y constituye un paso trascendental en la búsqueda de la excelencia en la formación de los oficiales navales. Además, cuenta con la particularidad de simular escenarios del río Paraguay, zona de Asunción y sus alrededores; el avance tecnológico que significa para la Armada el nuevo simulador como recurso didáctico

El ADINAV versión 5 incorpora el protocolo NMEA 183A para la conexión entre el simulador y cualquier instrumental náutico compatible.

ADINAV V3 Instalado en la ESNM (2019) y en la ESTT (2018).



ADINAV V5 – instalado en la Escuela Naval Militar – 4 cubículos 1 consola instructor (2021)

para el aprendizaje de la navegación es incalculable. Mi agradecimiento por el apoyo recibido por parte de la Misión Naval Argentina para su desarrollo».

La versión 3 fue instalada en 2018, en la Escuela de Técnicas y Tácticas Navales (ESTT, actual CITT) con asiento en la Base Naval Puerto Belgrano, como apoyo para el adiestramiento de las unidades de la Flota de Mar y la instrucción de los cursos de la Escuela de Suboficiales de la Armada. En 2019, con una arquitectura de cuatro puentes de comando, se instaló en la Escuela Naval Militar con *hardware* donado por la Sociedad Militar Seguro de Vida. La escuela contaba con un simulador homologado adquirido en el año 1998 a la empresa Transas, que continúa operativo. Su incorporación se materializó a través del proyecto Venus, que introdujo la necesidad del uso de simuladores para la formación de cadetes.

«El proyecto Venus consiste en un simulador de navegación que ha sido concebido fundamentalmente para apoyar el aprendizaje de los aspectos prácticos que se ven en forma teórica dentro de los currículos correspondientes a las materias Navegación y Maniobra. Dentro de estas materias, se introdujeron objetivos instrumentales y procedimentales que permiten fijar los conocimientos a través de la ejecución de ejercicios, en los cuales, en forma gradual, se resuelven diferentes situaciones» («La Escuela Naval, cuna de los oficiales de la Armada», en el BCN N.º 793).

Ese mismo año, al reemplazar el simulador MELIPAL y en concordancia con los objetivos del proyecto Venus, se instaló el ADINAV en la fragata ARA *Libertad* para ampliar las capacidades de formación práctica de los Guardiamarinas en comisión embarcados.

Durante el año 2020, se materializó una importante actualización que derivó en la versión 5. Entre los cambios, hay una significativa mejora de la interfaz gráfica, un rediseño de la física de los buques y una mejora en el modo en que se utilizan las amarras. También se le incorporaron nuevas funciones, como la comunicación NMEA (protocolo utilizado para comunicarse entre el instrumental náutico), un sistema AIS (*Automatic Identification System*) y una mejora en las prestaciones del sistema Radar.

Durante este año, se incorporó un nuevo adiestrador con cuatro estaciones de la versión 5 en el Liceo Naval Almirante Brown.

Descripción del adiestrador ADINAV

Su diseño responde al esquema tradicional de una o más estaciones de puente y una consola de instructor para armar y dirigir el ejercicio.



ADINAV V5 instalado en el Liceo Naval Almirante Brown (2022)

En el módulo alumno, se representa la configuración típica de un puente de comando, donde se encuentran los siguientes instrumentos:

- Un entorno gráfico que representa las zonas de navegación.
- Un radar de navegación Arpa.
- Un sistema de:
 - Control de máquinas y timón con axiómetro e indicador de RPM.
 - Instrumental náutico, GPS, ecosonda y reloj.
 - Alidada para la toma de marcaciones.
 - Lector de cartografía electrónica y cartas meteorológicas.
 - Representación de contactos AIS.
 - Comunicaciones VHF.
 - Panel de luces de navegación, señales acústicas y banderas.
 - Panel de control de amarras y fondeo.
 - Panel de cámaras internas y externas de video.

La consola del instructor contiene:

- Herramientas para el armado del ejercicio.
- Sistema de representación geográfica de los elementos de la simulación.
- Un sistema que permite generar incidencias.
- Manejo de los cambios meteorológicos y de estado de mar.
- Herramientas para insertar o quitar buques del escenario durante el ejercicio.
- Herramientas de grabado y de reproducción del ejercicio a los fines didácticos.

Las zonas de navegación diseñadas hasta el momento son las siguientes:

Argentina:

- Río de la Plata (Puerto de Buenos Aires, Dársenas Norte y Sur, Puerto de la Plata, Río Santiago, boyado del canal desde Pontón Recalada hasta el canal Emilio Mitre).

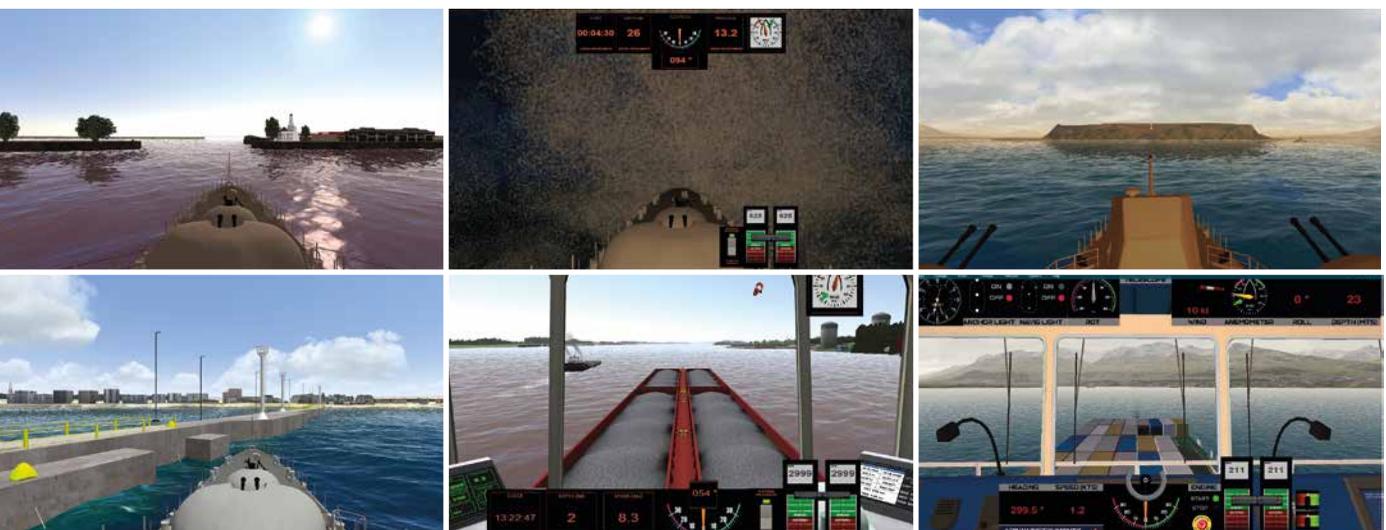


DINAV V5
Módulo Alumno



ADINAV Módulo
Consola de Instructor

- Costa atlántica: comprende el puerto y la Base Naval Mar del Plata desde Miramar hasta el Faro Querandí.
- Ría Bahía Blanca, desde Zona Rincón hasta la Base Naval Puerto Belgrano.
- Golfo Nuevo, con ingreso al muelle de Puerto Madryn.
- Comodoro Rivadavia, con ingreso al puerto de la ciudad.
- Isla de los Estados, incluida la entrada a Puerto Parry.
- Tierra del Fuego, desde Bahía Lapataia hasta el Estrecho de Le Maire, incluidos los puertos de Ushuaia y Puerto Williams (Chile).



Escenarios del Río
de la Plata, Tierra del
Fuego, Golfo Nuevo
y Asunción

Paraguay:

- Escenario de Río Paraguay Zona Asunción.



Escenario Puerto Belgrano.
Corbeta ARA *Espara*
maniobrando (vista externa)

Sobre la plataforma se pueden operar distintos tipos de buques, entre ellos, los buques de la Armada Argentina Meko 360, Meko 140, logístico *Patagonia*, OPV, transporte ARA *San Blas* y aviso *Teniente Olivieri*. También utiliza buques para emular tráfico marítimo, tales como buques de transporte, petroleros, *ferrys*, buques de pesca de arrastre y poteros, remolcadores de puerto, remolcadores de mar, buques de pasajeros, buques de combate, remolcadores de empuje, lanchas y veleros.

OPV en operaciones de control del mar. Milla 200
Mar Argentino



Además de los mencionados, se incorporaron objetos que hacen a la práctica de los procedimientos de búsqueda, salvamento y rescate en el mar, como buques siniestrados, botes de rescate, balsas salvavidas, naufragos, bengalas, etc.

Para aportar un mayor realismo al ejercicio, las condiciones meteorológicas se cargan de modo automático extrayendo los datos a través de una API (*application programming interface*) desde la página web *open weather*, de donde se obtiene la meteorología actual en esa zona de navegación. Esto amplía las capacidades del adiestrador, por lo que puede generar ejercicios sobre la interpretación de las cartas meteorológicas.



Corbeta ARA *Espera* en operaciones con botes



Corbeta ARA *Rosales* navegando con marejada y bajas condiciones de visibilidad



Para facilitar las clases y el adiestramiento, se ha creado un catálogo de ejercicios sobre distintas situaciones que han de simularse.

- Navegación costera con marcaciones visuales.
- Navegación sobre enfilaciones.
- Maniobras en puerto, en canal y en aguas restringidas.
- Posicionamiento de la unidad por medios electrónicos
- Aplicación de las reglas para prevenir abordajes.
- Maniobras de reaprovisionamiento en el mar y maniobras tácticas.
- Ejercicios de identificación de buques y control de pesca.
- Conocimiento de zona.
- Ejercicios de búsqueda y salvamento (SAR).
- Maniobra de hombre al agua.
- Operaciones con aeronaves.
- Ejercicios de comunicaciones entre buques y estaciones costeras.
- Ejercicios complejos que integren variadas situaciones.

Todos ellos se pueden realizar de modo diurno y nocturno aplicando variantes como viento, corriente, visibilidad y estado de mar.

Arquitectura del adiestrador ADINAV

Considerando las necesidades para el adiestramiento de tripulaciones y el aprendizaje individual y en el aula, se crearon tres arquitecturas diferentes.



Arquitectura *Stand Alone* (versión portable), aula y cubículo del adiestrador ADINAV

Arquitectura Aula: con cursos generalmente numerosos, requiere varias estaciones de puente en una sola aula, preferentemente separadas por algún tabique con el fin de dar privacidad a cada puente, pero dejando que el instructor pueda tener una visión global del desempeño de los alumnos. En esta modalidad, se pueden ubicar entre tres y cuatro alumnos por cubículo y lograr una buena interacción con el ejercicio de todo el curso.

Arquitectura Cubículo: es adecuada para adiestrar a la dotación de un buque o a alumnos en la última etapa de formación. Esta modalidad contempla uno/dos puentes de mando separados y una consola de instructor.

La consola del alumno puede integrar tres pantallas visuales o una sola de mayor tamaño; esta segunda opción requiere el uso de una menor cantidad de recursos y fue la adoptada en la ESNM.

Arquitectura Portable (*Stand Alone*): fue diseñada para el adiestramiento individual; es una versión simplificada del adiestrador que se ejecuta sobre un *pendrive*, sin necesidad de ser instalada. Permite que el usuario realice prácticas en cualquier computadora que cumpla con los requisitos. Tiene como opción la ejecución hasta sobre tres pantallas utilizando una sola CPU, independizando el radar, la cartografía y la visual. En esta modalidad, se pueden conectar vía internet e interactuar en un mismo escenario hasta 20 buques en red.

Desarrollo de escenarios

Para el desarrollo de un escenario, se deben seguir los siguientes pasos:

Paso 1: Se obtienen los datos del terreno y la batimetría.

Las diferentes arquitecturas del adiestrador le otorgan versatilidad para las diferentes necesidades de instrucción.

La base de los escenarios se construye utilizando como fuente de referencia los modelos de datos de elevación de los mapas de altura, que se obtienen a través de las páginas oficiales de internet de las organizaciones:



Escenarios contruidos para el adiestrador de navegación ADINAV

- GEBCO (*General Bathymetric Chart of the Oceans*).
- CIGIAR-CSI (*Consortium for Spatial Information*) a través de su modelo SRTM 90m
- DEM (*Digital Elevation Database*).

Los escenarios se moldean utilizando modernas herramientas de diseño 3d y datos topográficos de libre disponibilidad.

En general, estos archivos tienen licencias de libre uso y una precisión muy aceptable.

Paso 2: Se realiza sobre los mapas un proceso de optimización y adecuación a través de programas especializados, para luego introducirlos en el simulador, y se crea el entorno geográfico de la tierra y el fondo marino.

Paso 3: Se aplican texturas que emulan las distintas superficies de la tierra, como rocas, piedras, pasto, arena, nieve, etc.

Paso 4: Se diseña cada uno de los objetos que caracterizan la zona y después se convierten a un archivo 3d compatible con el formato gráfico Directx (.x) y se los posiciona georreferenciados dentro del escenario.

Paso 5: Se programa el sistema de balizamiento que incluye boyas y faros.

Con esta técnica, se busca crear una ilusión óptica que sumerja al alumno en una zona de navegación específica, para lo cual se replican con exactitud todos los puntos notables que

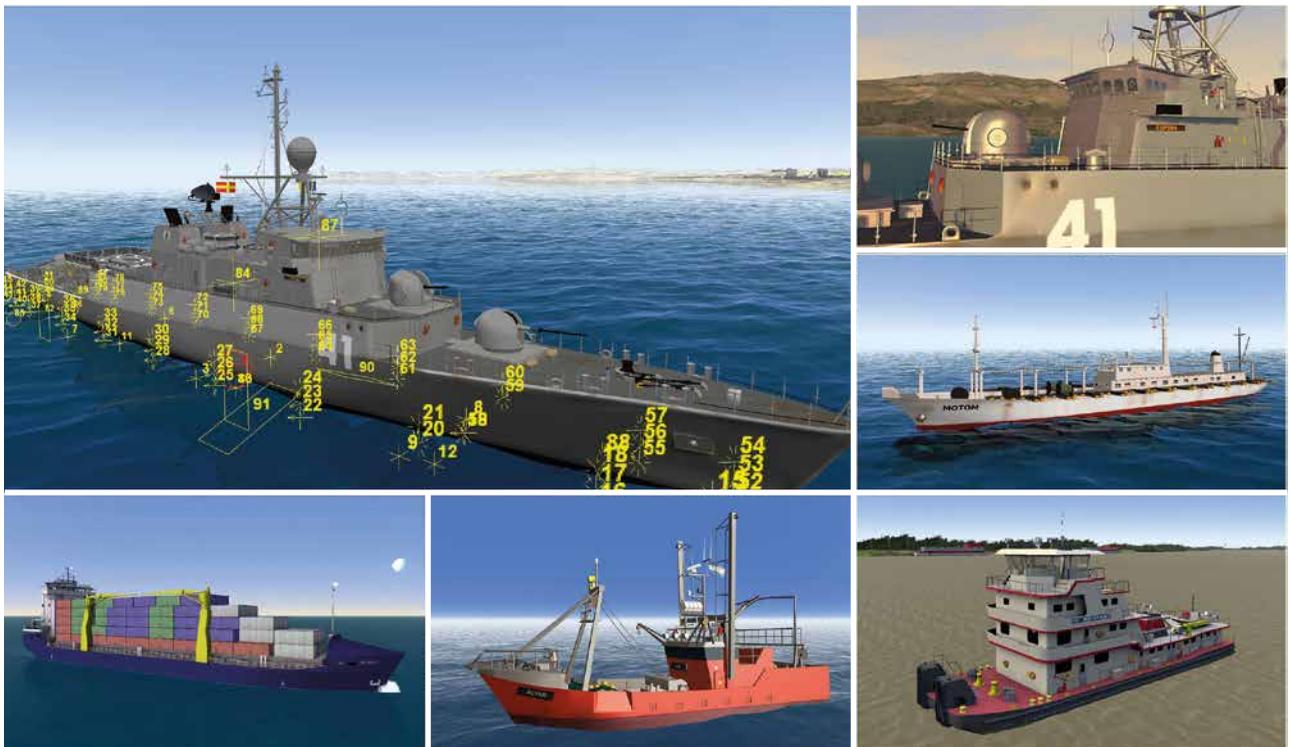
hacen a la navegación y los objetos que definen la zona, tales como faros, boyas, edificios característicos, muelles, antenas, etc. El resto de los objetos se agrega de forma genérica con la finalidad de rellenar el escenario.

Para georreferenciar los objetos, se utilizan la cartografía náutica de la zona y programas como el Google Earth, QGIS (base de datos) y aplicaciones que he desarrollado, como el sistema de posicionado automático de objetos con el fin de facilitar la tarea.

Desarrollo de buques

Los buques, al igual que los objetos del escenario, se construyeron con una herramienta de diseño 3d y luego fueron adaptados dentro del simulador. Una vez diseñado el modelo gráfico a escala, deben programarse sus parámetros para que tenga un comportamiento físico adecuado. También se programan las distintas cámaras para vistas internas y externas, las luces de navegación, fondeo y especiales, y las posiciones de las bitas. Para el tráfico marítimo, es suficiente un comportamiento físico genérico, lo cual facilita su diseño e incorporación.

Los buques, al igual que los objetos del escenario, se construyeron con una herramienta de diseño 3d y luego fueron adaptados dentro del simulador.



Panel de configuración de las propiedades físicas de los buques. Ejemplo de buques utilizados en el adiestrador de navegación ADINAV

Cartografía electrónica

El sistema admite cualquier visualizador de cartografía externa que se conecte con el protocolo NMEA 182 A, por ejemplo, el sistema de visualización de la Armada Argentina POLLUX.

Para este adiestrador, se optó utilizar la versión gratuita de código abierto (*open source*) del visualizador OpenCpn, sobre el cual se puede representar toda la cartografía vectorial emitida por cualquier Servicio de Hidrografía Naval y trazar rutas, *waypoints* y áreas propias de cualquier sistema ECDIS. Este visualizador tiene la capacidad de leer archivos meteorológicos (GRIB/Fax meteorológico) y cuenta con varios agregados (*Plugins*) que amplían las op-

ARA Rosales ingresando a la Base Naval Puerto Belgrano. Cartografía del Servicio de Hidrografía Naval sobre plotter electrónico OpenCpn



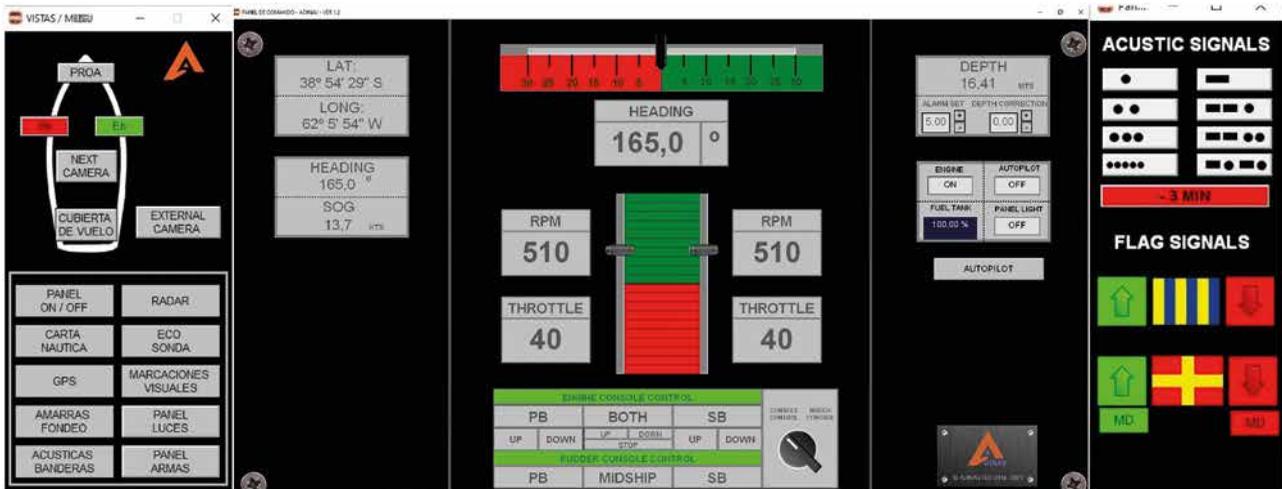
OpenCpn es un software de uso gratuito que se integra al adiestrador mediante conexión Nmea. Este permite la lectura de la cartografía electrónica emitida por el Servicio de Hidrografía Naval.

ciones disponibles, como la navegación astronómica, los patrones de búsqueda y salvamento en el mar y la representación AIS, entre otros.

Este visualizador es muy estable, cuenta con muchos años de desarrollo y se encuentra en la mayoría de los puentes de mando de los buques de la Armada Argentina.

Instrumental externo

El instrumental externo cumple dos funciones: una es la visualización de la información de la unidad representada en los distintos instrumentos, y la segunda es facilitar la interacción de las acciones dentro del programa. Estas herramientas se programaron sobre una biblioteca de enlace dinámico dll en lenguaje C++. Como se ve en las fotos, hay distintos paneles con funciones variadas que representan la consola principal de mando, el panel de señales acústicas y de banderas y el panel de acciones rápidas para vistas y despliegue de paneles.



Panel de instrumental náutico

Ventanas emergentes



RADAR

GPS

CARTOGRAFIA

ECOSONDA

Dentro del instrumental, se representan un radar auxiliar, el GPS y el *display* de ecosonda mediante ventanas emergentes.

Controles de máquinas

Para dar un mayor realismo, se construyeron controles físicos para el manejo de las máquinas y el control del timón. Esta tarea requirió varios ensayos de prueba y error hasta lograr un desempeño acorde a lo que se pretendía.

Los controles fueron diseñados sobre una caja metálica, sus componentes fueron impresos con el uso de la tecnología de impresión 3d y se le agregaron botones configurables para automatizar distintas acciones del buque. El desarrollo de estos controles redujo los costos en un 70 % con respecto a las escasas opciones de mercado.



Los controles físicos fueron diseñados y contruidos específicamente para el adiestrador ADINAV, reduciendo costos con respecto a las alternativas del mercado.

Controles externos diseñados y contruidos para el ADINAV

Experiencia de uso

Mi experiencia luego de haber desarrollado y utilizado este adiestrador fue altamente positiva, al principio como profesor militar en la Misión Naval Argentina en Paraguay y, más tarde, como asesor de los adiestramientos realizados en las escuelas de formación, donde su utilización se ha ido implementando en forma gradual, con un plan de mejora continua en cuanto a la actualización del *software* y a la capacitación de los instructores. Hoy, es muy solicitado por las dotaciones de las unidades de la Flota de Mar para el adiestramiento en procedimientos de puente y conocimiento de zona.

En la fragata ARA *Libertad* y en la Escuela Naval Militar se utiliza como apoyo a la enseñanza. Su uso permitió el incremento de la práctica profesional en las materias Navegación, Maniobra, Meteorología y Comunicaciones, y en el desarrollo en los ejercicios de integración profesional náutica con los cadetes de todos los años, emulando embarcos virtuales como complemento de la etapa real.

En particular el uso del adiestrador cobró especial importancia en la preparación del conjunto operativo puente de comando de la corbeta ARA *Espora* en donde, en 2017, me encontraba ocupando el cargo de Comandante. Al asumir el comando, el buque estaba en

un período de reparaciones generales, con una dotación que había experimentado un alto recambio en sus oficiales. La unidad pasó en esa condición diez meses. Durante ese período, una de mis mayores preocupaciones era la de no conocer el desempeño náutico de mis oficiales y me preguntaba cómo nos integraríamos como equipo en el puente de comando en navegación y en la maniobra. Por lo tanto, decidí montar en el cuarto de operaciones una réplica del adiestrador con los escenarios de la Base Naval Puerto Belgrano y la Ría Bahía Blanca. A lo largo de varios ejercicios, esta herramienta facilitó el adiestramiento del *team* de puente en todos los procedimientos y, a su vez, permitió el conocimiento mutuo de los integrantes del equipo de trabajo. Pude apreciar, durante el desarrollo de las primeras navegaciones, que este adiestramiento había contribuido directamente a disminuir el riesgo operacional de la unidad en la etapa inicial de operaciones.

Conclusiones

Sobre la base de la observación y la experiencia que he acumulado durante todos estos años, puedo concluir que cualquier ayuda didáctica que involucre al alumno, utilizada correctamente con un plan de capacitación y con objetivos concretos, acelera el proceso de aprendizaje y lo consolida de un modo no logrado con el uso de otros métodos.

En particular, los sistemas virtuales de simulación son una tecnología transformadora que se ha afianzado en el área marítima en los últimos treinta años. Esta revoluciona el espacio áulico al ofrecer en su interior un instrumento de práctica profesional personalizable, disponible a tiempo completo, con escasas demandas logísticas. Su correcto uso permite alcanzar altos niveles de aprendizaje y de adiestramiento, y ubica al individuo en un conveniente punto de partida para operar en el mundo real con un menor riesgo inicial.

El realismo gráfico y el comportamiento físico que se observan actualmente en la réplica de situaciones reales dentro de los simuladores modernos, los hace una herramienta muy poderosa. Esto innova, en que el uso de medios virtuales para la práctica genere un ciclo virtuoso, en donde se reafirman los saberes con la práctica dentro de un solo espacio de tiempo, lo cual compone un aprendizaje de mejor calidad.

La variedad y la especificidad que se pueden aplicar en la ejecución de los ejercicios es difícil de conseguir en la práctica sobre un medio real. Su uso como herramienta de ayuda didáctica permite una mejor comprensión y asimilación de los conocimientos teóricos, y constituye un instrumento fundamental dentro del método de aprendizaje por competencias implementado en las escuelas navales.

Con respecto al adiestrador ADINAV, su implementación ha tenido una muy buena aceptación desde que fue instalado en las distintas escuelas de formación. Su intensivo uso, con muy buenos resultados, ha demostrado su solidez, robustez y utilidad. Como herramienta de adiestramiento, las estadísticas reflejan que es muy solicitado en el ámbito de la Flota de Mar, donde es utilizado para la práctica de procedimientos, comunicaciones y maniobras, y como herramienta de conocimiento de zona. Sobre él se ejercitan las buenas prácticas recomendadas en el curso de BRM (*Bridge Resource Management*) para consolidar el funcionamiento de los *team* de puente de las unidades. No es un dato menor que el valor final de instalación y de mantenimiento es mínimo con respecto al de un simulador comercial, lo cual lo hace fácilmente replicable. Esta conclusión no invalida la necesidad de contar con un simulador de navegación homologado que permita evaluar la competencia en los cursos con homologación de la Organización Marítima Internacional.

Con respecto a la incorporación y el mantenimiento de simuladores en el área de la enseñanza y el adiestramiento, es necesario contar con políticas institucionales que permitan

El valor final de instalación y mantenimiento del ADINAV es mínimo con respecto al de un simulador comercial, haciéndolo fácilmente replicable.

explotar en profundidad el potencial que representa su uso. Estos son sistemas que, si bien reducen costos con respecto a las operaciones reales, pueden deslucir la relación costo-beneficio con una inadecuada planificación en su empleo.

Quisiera finalizar este artículo agradeciendo a quienes contribuyeron a través de su desinteresado aporte a que este desarrollo se materializara: el Sr. Capitán de Navío (RE) D. Osvaldo Martinetti, excepcional modelista en 3d, quien me cedió los modelos de varios buques de la Armada Argentina y parte de los edificios utilizados en los escenarios de la Base Naval Puerto Belgrano y Mar del Plata, y a mi hijo Tomás Federico, estudiante de la carrera Ingeniería Electrónica en la Universidad de Buenos Aires, quien con entusiasmo diseñó, programó y construyó los controles externos utilizados en el adiestrador.

Actualmente, la versión ADINAV 5 está instalada en la Escuela Naval Militar, el Liceo Naval Almirante Brown, la fragata *Libertad* y el Centro de Instrucción de Técnicas y Tácticas Navales, y se proyecta su uso en la Escuela Naval Fluvial y el Liceo Naval Almirante Storni. ■

REFERENCIAS

Cognitive Systems Engineering, Rasmussen, Jens y otros.

Towards a theory of situation awareness in dynamic systems Human Factors, Endsley, 1995.

Accidentes en el transporte, Victor Ferrazano, 2017.

El shock del futuro, Alvin Toffler, 1970.

«La Escuela Naval, cuna de los oficiales de la Armada», en el *BCN* N.º 793.

«Las habilidades no técnicas en la gestión de los recursos del puente», en el *BCN* N.º 845, Capitán de Navío Pablo Martín Bonuncelli.

«La didáctica en el empleo de los simuladores marinos», en el *BCN* N.º 853, Capitán de Fragata (R), Capitán de Ultramar, Capitán Fluvial, DPO Full Certificate y Perito Naval Alberto Gianola Otamendi.

Standards of Training, Certification, and Watchkeeping (STCW), 1978.

The Dynamics of Life Skills Coaching, Paul R. Curtiss y Phillip W. Warren, 1973.

Simulación Virtual Interactiva, Jairo Uparella, 2013, Ed. 3Dium.

Monografías del Spot, jornadas tecnológicas: Simulación en el ámbito de la defensa, Ministerio de Defensa, España, 2018.

Is Simulator Training Worth It?, Murray Goldberg, 2013.

Text, Video, Simulations and More. What is the Most Effective Media for Maritime Training?, Murray Goldberg, 2013.

ARTÍCULOS WEB

El Jefe del Estado Mayor General de la Armada visitó Paraguay

<https://gacetamarinera.com.ar/el-jefe-del-estado-mayor-general-de-la-armada-visito-paraguay/>

Aniversario de la Misión Naval de Instrucción Argentina en Paraguay

<https://epara.cancilleria.gob.ar/es/content/aniversario-de-la-mis%C3%BB3n-naval-de-instrucci%C3%BB3n-argentina-en-paraguay>