

# Proyecto Elementos Esenciales del Buque Autónomo



## CHALLENGE EEBA

### BLOQUE IA

TN Alvar Hernández Santiuste

Oficial de la Subdirección de Ingeniería de la Dirección de Construcciones Navales. Área de Sistemas de Combate

#### RETO 1

##### Toma de decisiones autónoma explicable en entornos complejos

El objetivo es desarrollar un sistema de Inteligencia Artificial que dote al buque autónomo de una capacidad real de adaptación táctica, que le permita modificar su comportamiento operativo ante cambios inesperados en el entorno o en las órdenes recibidas. Este comportamiento adaptativo debe estar sustentado por sistemas de inteligencia artificial robusta y explicable (XAI), capaces de tomar decisiones autónomas en escenarios complejos, con justificación comprensible para operadores humanos, sin comprometer la seguridad táctica.

##### Objetivo

Diseñar un módulo de control inteligente embarcado que permita la toma de decisiones autónoma, explicable y adaptativa, asegurando la continuidad de la misión y la resiliencia operativa del buque en escenarios dinámicos, hostiles e inciertos, minimizando la necesidad de intervención humana.

##### Ideas

- Algoritmos de planificación autónoma basados en refuerzo profundo explicable.
- Sistemas de justificación automática de decisiones en lenguaje natural estructurado.
- Evaluación de acciones pasadas y aprendizaje supervisado por humanos.

#### RETO 2

##### Fusión de datos y visión táctica compatible

Implementar capacidades de IA en un sistema embarcado en un buque autónomo que permita integrar datos de múltiples sensores en tiempo real (imágenes EO/IR, radar, AIS, comunicaciones, sónar, meteorología, etc.) para generar una visión táctica coherente, precisa y contextualizada del entorno marítimo. El sistema debe ofrecer una representación táctica comprensible, tanto para operadores humanos como para otros sistemas automatizados, y ser fácilmente compatible con otras plataformas y nodos de mando.

##### Objetivo

Diseñar una herramienta de fusión sensorial inteligente y visualización táctica adaptativa, que genere en tiempo real una conciencia situacional unificada, confiable y compatible, mejorando la toma de decisiones autónoma o asistida en buques autónomos y unidades conectadas.

##### Ideas

- Fusión sensorial multicanal basada en IA con resiliencia a pérdidas o distorsión de datos.
- Autoevaluación de fiabilidad de sensores y priorización adaptativa de fuentes.
- Evaluador de consistencia y calidad de datos.

#### RETO 3

##### Coordinación inteligente de enjambres robóticos navales

Aplicar inteligencia artificial para coordinar enjambres de sistemas no tripulados (USV, UAV, UUV) desde el buque autónomo, permitiendo misiones cooperativas de reconocimiento y vigilancia sobre y bajo la superficie, defensa perimetral del buque o guerra de minas. La IA debe gestionar comunicación, asignación de tareas y adaptación a fallos o cambios en el entorno de forma autónoma y eficiente.

##### Objetivo

Prototipar un sistema de control inteligente de enjambres embarcado, con capacidades de planificación distribuida, resiliencia ante fallos de nodos, y toma de decisiones táctica en red, alineado con objetivos de misión navales.

##### Ideas

- Algoritmos bioinspirados o multiagente reforzados para control descentralizado.
- Lógica de enjambre reconfigurable y adaptable a nivel de misión.
- Interfaz hombre-máquina para supervisión táctica y delegación de control.

#### RETO 4

##### Gestión inteligente del consumo energético a bordo

Aplicar técnicas de inteligencia artificial para optimizar la gestión energética de los sistemas embarcados en un buque autónomo, considerando la carga computacional, los sensores activos y las necesidades de propulsión. Las soluciones deberán identificar patrones de consumo, prever demandas futuras y aplicar estrategias de ahorro que no comprometan la autonomía operativa del buque. Se valorará especialmente el enfoque hacia eficiencia energética y sostenibilidad.

##### Objetivo

Desarrollar un módulo inteligente de gestión energética embarcado, basado en IA, que permita optimizar de forma autónoma el consumo global del buque autónomo en función del contexto operativo, las prioridades de misión y el estado de carga, extendiendo su autonomía sin intervención humana.

##### Ideas

- Predicción de demanda energética basada en contexto operacional.
- Priorización autónoma de recursos energéticos según modo de misión.
- Optimización distribuida entre subsistemas mediante IA colaborativa.

### BLOQUE CONCIENCIA SITUACIONAL

ITA José Carlos Fernández González

Ingeniero Aeronáutico. Especialista en Sistemas de Navegación

#### RETO 5

##### Sistemas de visión inteligente

Los buques, cada vez tienen mayor cantidad y capacidad en sistemas ópticos para detección de objetos de interés en base a las imágenes de los diferentes sistemas de cámaras electro-ópticas e infrarrojas disponibles a bordo. El desarrollo de la aplicación debe ser capaz de recoger la información de diversas cámaras de diferentes tipologías (SVO, IRST, CCTV, LIDAR) y, con la composición de imágenes, crear una imagen única 360° y en condiciones ambientales adversas, donde se detecten y clasifiquen elementos del entorno del buque, dando aviso de los más críticos, y compatible en formato SAPIENT, la actitud y elevación del objeto.

##### Objetivo

Desarrollar un SW para plataforma COTS que integre datos visuales heterogéneos, con apuntamiento fijo y/o móvil, para crear una imagen única con la composición de las mismas. Aplicar técnicas de reconocimiento visual para detección y clasificación de elementos relevantes y su transmisión a otros sistemas.

##### Ideas

- Fusión de datos de fuentes visuales EO/IR y trazas RADAR/AIS
- Creación de una imagen mejorada, y modos de presentación como son navegación, registro, reaprovisionamiento en la mar, o contraminado.
- Reconocimiento visual para detección, clasificación y seguimiento robusto de objetivos.

#### RETO 6

##### Realidad aumentada/mixta

En la navegación cada vez se ofrecen más sistemas SVO de apoyo, con conexión a gafas VR como prismáticos de vigilancia de navegación y vigía, controlando el apuntamiento de las cámaras y también cámaras de SVO con apuntamiento de las gafas VR. Esto permite evitar posibles ángulos ciegos en los puentes de navegación y o la operación desde puente auxiliar. Las gafas VR deben disponer de una serie de controles como son el zoom, cambio de EO/IR, y demarcación de líneas como alidada electrónica. Adicionalmente se marcarán en las gafas VR los contactos radar y AIS disponibles.

##### Objetivo

Desarrollar un software vinculado a visores de gafas VR para controlar una o varias cámaras SVO. Se desean varios modos de control como control de apuntamiento, zoom, alidada, etc. Desarrollar módulos específicos de aplicación en submarino y contraminado. Grabación y capacidad de simular escenarios críticos, (baja visibilidad, fallo de sensores, abordajes), tanto en buque como en tierra.

##### Ideas

- Apoyo a la navegación en zonas de alta demanda, y mejora de la consciencia situacional del mismo.
- Integración en gafas tipo VR.
- Apoyo al entrenamiento, y simulación de ejercicios de situaciones extremas.

#### RETO 7

##### PNT

Por la creciente complejidad de las ECM en el campo de batalla, los sistemas PNT también deben incrementar su capacidad y, por tanto, su coste. Para armamento guiado o sistemas UAS de bajo coste tipo Small, Mini y Micro o RHIBs, el coste de los sistemas PNT empiezan a ser superiores al de la plataforma donde radica.

##### Objetivo

Desarrollar un sistema de posicionamiento para guiado en corto alcance para guiado de las plataformas menores, como apoyo a los sistemas autónomos del buque. Contará con uno o varios sistemas de bajo coste mediante técnicas de descifrado de señales PNT deslocalizada, sistemas de guiado ópticos, sónicos (para el caso de AUV) o radio (sistemas radar o hiperbólicos).

##### Ideas

- Uso de los enlaces de comunicaciones links ya disponibles como el AIS, o radios tácticas.
- Uso futuras comunicaciones como 5G para las tareas de comunicación en equipos miniaturizados.
- Uso de redes propias y externas para su localización.

### BLOQUE GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN

CF Eduardo Almazán-García Campos

Oficial de la Subdirección de Ingeniería de la Dirección de Construcciones Navales. Responsable Área de Sistemas de Combate

#### RETO 8

##### Autopistas de la Información

La implementación de buques autónomos representa una evolución disruptiva en las operaciones navales, integrando sistemas ciber-físicos avanzados, inteligencia artificial y comunicaciones navales. Sin embargo, esta transformación conlleva importantes retos tecnológicos, especialmente en lo que respecta al uso y dependencia de las autopistas de la información.

##### Objetivo

Garantizar la conectividad, seguridad, interoperabilidad y eficiencia del flujo de información entre buques autónomos, infraestructuras navales y centros de control, mediante el desarrollo e integración de autopistas de la información robustas, seguras y adaptadas al entorno marítimo.

##### Ideas

- Nodos 5G portátiles embarcados con conmutación satélite/terrestre con redes mesh dinámicas con enrutamiento inteligente.
- Integración de módulo IA en UXVs para clasificar la priorización/transmisión/destino de los datos generados a bordo.
- Clasificación de tráfico por contexto (combate, navegación, mantenimiento) y uso de políticas adaptativas.

**RETO 9**

**Procesamiento Cuántico**

El procesamiento cuántico representa una frontera emergente con potencial para transformar radicalmente la toma de decisiones, el modelado predictivo y la optimización de operaciones en los buques autónomos. Sin embargo, su adopción en entornos navales plantea múltiples desafíos técnicos, operativos y de integración.

**Objetivo**

Explorar y desarrollar soluciones tecnológicas que integren o aprovechen el procesamiento cuántico para mejorar la toma de decisiones, la seguridad y la eficiencia operativa de los buques autónomos, enfrentando los desafíos de latencia, procesamiento de datos y criptografía avanzada en entornos navales.

**Ideas**

- Módulos compactos de Quantum Key Distribution (QKD) integrables en nodos de comunicaciones navales.
- Ejecución de simulaciones de entornos navales complejos, predicción de trayectorias o rutas evasivas ante amenazas.
- Simulador de ataques cuánticos sobre sistemas de cifrado actuales.

**RETO 10**

**Fotónica**

En el contexto de los buques autónomos, la fotónica puede habilitar nuevas capacidades como:

- Sensores ópticos avanzados (LIDAR, espectroscopia, visión infrarroja) en navegación, detección de obstáculos y vigilancia en condiciones adversas.
- Comunicaciones ópticas (láser) que ofrecen alta velocidad y baja latencia, tanto a bordo como entre buques o con estaciones costeras/satélites.
- Procesamiento de señales ópticas para aumentar la velocidad y eficiencia del análisis de datos sin depender exclusivamente de la electrónica convencional.
- Fibra óptica embebida en estructuras del buque para monitorización estructural (SHM ), vibraciones, presión y temperatura, en tiempo real y con alta precisión.

[1] Structural Health Monitoring

**Objetivo**

Impulsar el desarrollo e integración de tecnologías fotónicas aplicadas a la navegación, sensorización y comunicación entre buques autónomos, para mejorar su autonomía operativa, seguridad en la navegación y capacidad de percepción del entorno.

**Ideas**

- Utilización de enlaces láser entre buques y satélite para enlaces LPD de alta velocidad.
- Sensores ópticos distribuidos en casco y mástil para detección de impactos o deformaciones.
- Infraestructura óptica para sensores distribuidos y sistemas EW.

**RETO 11**

**IoT Naval**

El Internet de las Cosas Naval (IoT Naval) es un pilar clave para la evolución de los buques autónomos, ya que permite conectar sensores, sistemas y subsistemas embarcados y remotos, facilitando la recolección, transmisión y análisis de datos críticos en tiempo real.

En un buque autónomo, los dispositivos IoT deben:

- Monitorizar continuamente sistemas clave del buque (propulsión, navegación, estructura, combustible, carga, medio ambiente).
- Detectar fallos o anomalías automáticamente mediante análisis predictivo.
- Interoperar entre sí y con infraestructuras portuarias, satelitales y de control remoto.
- Reaccionar ante eventos con o sin intervención humana directa, incluso en condiciones hostiles o de conectividad limitada.

**Objetivo**

Desarrollar soluciones IoT avanzadas, seguras e interoperables que permitan a los buques autónomos operar como sistemas inteligentes, conectados y resilientes, optimizando su desempeño técnico, su autonomía operativa y su integración con infraestructuras navales y portuarias.

**Ideas**

- Gateways embarcados con capacidad de edge computing y priorización de datos.
- Algoritmos embarcados de detección de fallos en sensores o sistemas (auto-health checks).
- Sincronización temporal de eventos procedentes de múltiples sensores.

**RETO 12**

**Gemelo Digital**

Desarrollar un sistema de gemelo digital que integre inteligencia artificial para representar en tiempo real el estado físico, funcional y operativo de un buque autónomo. Este modelo virtual debe ser capaz de recoger, procesar y correlacionar grandes volúmenes de datos provenientes de sensores, sistemas de navegación, motores y subsistemas críticos, para generar información útil en la toma de decisiones y el mantenimiento predictivo. Se valorarán soluciones que no solo reflejen el estado actual, sino que también anticipen comportamientos futuros, detecten anomalías y propongan acciones correctivas de forma autónoma.

**Objetivo**

Diseñar un gemelo digital inteligente que permita monitorizar el estado del buque en tiempo real, facilitar la supervisión remota, predecir fallos o desviaciones operativas y servir de apoyo en simulaciones de misión o mantenimiento.

**Ideas**

- Integración de motores de análisis predictivo y Machine Learning entrenados sobre el gemelo.
- Sistemas de ingesta y sincronización de datos operativos y del estado de los sistemas.
- IA predictiva con capacidad de anticipar fallos, alertar al sistema o al operador remoto, y proponer acciones correctivas.

### RETO 13

#### Nube de Combate.

La Nube de Combate es un concepto estratégico y tecnológico que integra plataformas, sensores, armas y sistemas de mando y control distribuidos, todos conectados en red para compartir datos de forma instantánea, segura y colaborativa en un entorno operativo.

En el contexto de los buques autónomos de uso militar o dual (civil-militar), la nube de combate plantea retos tecnológicos complejos, ya que estos buques deben:

- Interactuar en tiempo real con unidades navales, aéreas y terrestres.
- Operar como nodos activos de inteligencia, vigilancia, reconocimiento (ISR) y defensa en entornos multidominio (ciber, espacio, superficie, subsuelo).
- Procesar y compartir datos críticos (sensoriales, de amenazas, de posición) con baja latencia y máxima seguridad.
- Integrarse de forma autónoma y segura en redes militares descentralizadas y resilientes.

#### Objetivo

Desarrollar soluciones tecnológicas que permitan la integración segura, autónoma y eficiente de buques no tripulados en entornos de nube de combate, mejorando su capacidad para colaborar, compartir información táctica y ejecutar funciones críticas en redes distribuidas y resilientes.

#### Ideas

- Nodos de nube táctica federada multinodo (embarcada, aérea, satelital y costera) que se sincronizan de forma dinámica con centros de mando o entre buques.
- Coordinación autónoma de enjambres mediante cloud-edge distribuido para toma de decisiones colectiva.
- Arquitectura desacoplada con tolerancia a pérdida de conectividad.

## BLOQUE SAFETY, CIBERSEGURIDAD, RESILENCIA

### TN Alberto García Romero

Oficial de la Subdirección de Ingeniería de la Dirección de Construcciones Navales. Responsable Área de Sistemas de Ciberseguridad

### RETO 14

#### Automatización de ataques defensivos

Diseñar un sistema embarcado capaz de detectar, categorizar y responder de forma autónoma ante ciberataques dirigidos a sistemas críticos del buque (navegación, comunicaciones, armas, sensores). Este sistema de ciberdefensa permitirá compartir indicadores de compromiso (IoC), coordinar respuestas y lanzar acciones defensivas colaborativas entre varios buques autónomos, estaciones remotas o nodos aliados, que permita.

• **TN Alberto García Romero** - Oficial de la Subdirección de Ingeniería de la Dirección de Construcciones Navales. Responsable Área de Sistemas de Ciberseguridad.

#### Objetivo

Diseñar un sistema de ciberdefensa autónomo que permita un intercambio seguro de inteligencia, ejecute acciones defensivas automáticas, preservando seguridad del buque mediante la ejecución sincronizada de contramedidas (bloqueo, engaño, aislamiento) frente a ciberamenazas.

#### Ideas

- Aislamiento automatizado de segmentos de red y regeneración de sistemas.
- Intercambio de inteligencia según STANAG 5660.
- Integración de End-Point Detection and Response (EDR)/ Intrusion Detection System (IDS) embarcados con lógica autónoma de respuesta.

### RETO 15

#### Cifrado Homomórfico para la Nube de Combate

Mejorar el procesamiento en tiempo real de datos sensibles cifrados, pudiendo delegar el cómputo a nodos no confiables sin riesgo de comprometer la confidencialidad e integridad de la información. Esto permitiría operaciones como análisis predictivo, toma de decisiones y fusión de datos en entornos no totalmente confiables. La solución deberá ser compatible con computación en la nube en distintos niveles: "edge computing" (generación y recopilación de datos) y "fog computing".

• **TN Alberto García Romero** - Oficial de la Subdirección de Ingeniería de la Dirección de Construcciones Navales. Responsable Área de Sistemas de Ciberseguridad.

#### Objetivo

Diseñar un prototipo funcional de cifrado homomórfico para el procesamiento de datos en tiempo real en una Nube de Combate, evaluando el equilibrio entre seguridad, rendimiento y latencia.

#### Ideas

- Implementación de un marco de interoperabilidad homomórfica que permita realizar operaciones colaborativas sobre datos cifrados.
- Evaluación de cargas tácticas (targeting, logística, mantenimiento) sin exposición de datos.
- Acelerar el cómputo homomórfico sobre datos embarcados, reduciendo la latencia y optimizando el rendimiento.

### RETO 16

#### Detección de anomalías en entornos IoT Militar

Desarrollar un sistema de monitorización continua y detección en tiempo real que mediante modelos estadísticos y entrenamiento supervisado de datos sea capaz, mediante IA, identificar patrones complejos de amenazas en entornos IoT militares sin comprometer su operatividad debido a la naturaleza crítica, heterogénea y altamente sensible de estos sistemas.

• **TN Alberto García Romero** - Oficial de la Subdirección de Ingeniería de la Dirección de Construcciones Navales. Responsable Área de Sistemas de Ciberseguridad.

#### Objetivo

Diseñar un sistema de monitorización capaz de detectar anomalías en entornos IoT militares.

#### Ideas

- Arranque autenticado y verificación de integridad en el BITE.
- Pruebas y simulaciones para validar la eficacia frente a amenazas emergentes (aprendizaje continuo).
- Modelos estadísticos y de IA para identificar patrones más complejos.

*RETO 17*

**Sistemas de detección adaptativos**

Creación de arquitecturas software y hardware para la monitorización continua de datos para identificar posibles amenazas de seguridad. El sistema debe cambiar sus patrones de escaneo, validación cruzada y análisis de firma para evitar ser engañado, manteniendo su fiabilidad en entornos de guerra electrónica. El sistema debe adaptarse a nuevas amenazas no previstas sin necesidad de intervención humana directa, y debe incorporar capacidades de aprendizaje continuo seguro.

• **TN Alberto García Romero** - Oficial de la Subdirección de Ingeniería de la Dirección de Construcciones Navales. Responsable Área de Sistemas de Ciberseguridad.

**Objetivo**

Detectar amenazas o comportamientos anómalos de forma eficaz y dinámica, adaptándose a cambios en el entorno o en las tácticas de los atacantes.

**Ideas**

- Algoritmos de detección de patrones de engaño y mimetización.
- Modulación adaptativa del comportamiento sensorial para confundir al atacante.
- Aprender de los datos en tiempo real mediante modelos de IA.

*RETO 18*

**Sistemas embebidos de ciberseguridad**

Desarrollar soluciones de ciberseguridad embebida que protejan los sistemas de control industrial (ICS/SCADA), navegación, sensores y armas del buque autónomo frente a ataques en tiempo real. Estos sistemas deben operar con recursos limitados, latencias mínimas y alta fiabilidad, sin interferir con el funcionamiento de las plataformas a las que protegen.

• **TN Alberto García Romero** - Oficial de la Subdirección de Ingeniería de la Dirección de Construcciones Navales. Responsable Área de Sistemas de Ciberseguridad.

**Objetivo**

Prototipar módulos de ciberprotección embebidos directamente en los dispositivos y controladores del buque (PLC, RTU, sensores inteligentes), capaces de detectar y mitigar ataques sin necesidad de conectividad constante con sistemas externos.

**Ideas**

- Registro auditable de pruebas y resultados para certificación de seguridad funcional.
- Sandboxing de nuevas versiones de software, algoritmos de IA o reglas de navegación autónoma.
- Integración con doctrinas OTAN para interoperabilidad y conformidad.