

MANTENIMIENTO INTELIGENTE EN LA ARMADA: EN VANGUARDIA Y TRAZANDO EL FUTURO

Juan DÍAZ DEL RÍO DURÁN



Introducción



OS sistemas de estimación de costes indican y, sobre todo, la experiencia ha demostrado, que la etapa de servicio de una nueva clase de buques conlleva un coste aproximadamente igual al de obtención y eso sin incluir el coste de la modernización de media vida. Dentro del coste de ciclo de vida, el sostenimiento se lleva alrededor del 70 por 100 (un 40 por 100 para mantenimiento y un 30 por 100 para material, aproximadamente).

Por ello, es de la máxima importancia contar con un sistema de mantenimiento que proporcione la mayor disponibilidad de los buques (días de mar de calidad) y que reduzca al máximo posible el coste de mantenimiento; para ello, la Armada ha optado por potenciar un modelo de mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM, *Reliability Centered Maintenance*), utilizando la estrategia óptima de mantenimiento que resulte de la adecuada combinación del mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo. En este contexto, el mantenimiento predictivo (*Predictive Maintenance*, PdM) adquiere especial relevancia.

El *software* utilizado por los sistemas de PdM, tras limpiar y preprocesar los datos provenientes de los sensores aplica complejos algoritmos matemáticos que le permite predecir con cierto nivel de confianza cuándo va a fallar un determinado sistema o equipo. El simple almacenamiento de datos no es suficiente; es necesario someterlos, en primer lugar, a un filtrado para eliminar posibles fallos de sensores, errores de medida o conexión, o unificación de la frecuencia de muestreo y los prepara para su explotación en las etapas

siguientes. Estos datos, una vez procesados, se almacenan en una base de datos para evitar realizar esta «limpieza» de nuevo en cualquier otra ocasión en que sea necesario su análisis.

El siguiente paso consiste en la «normalización de datos» y su introducción en un módulo de predicción para conocer el estado del equipo en un instante de tiempo futuro, donde se utilizarán para alimentar los diferentes métodos de predicción del sistema. Aunque muchos de los modelos de algoritmos matemáticos utilizados existen desde hace años, ha sido ahora cuando la tecnología ha alcanzado la madurez y la adecuada capacidad de almacenamiento, tratamiento y computación para poder obtener dicha capacidad de predicción.

El disponer de sistemas «inteligentes» capaces de determinar el estado de salud de los sistemas o equipos, detectando anomalías de funcionamiento o patrones que nos puedan advertir de un posible fallo, nos ofrece la capacidad de anticiparnos, mejorando la seguridad operativa, aumentando la permanencia en misión, evitando averías catastróficas y reduciendo el coste de mantenimiento. Una avería catastrófica siempre será mucho más onerosa y conllevará mayor tiempo de reparación, al margen del tiempo de obtención de repuestos no previstos, que ejecutar una o más correcciones menores anticipadamente.

Antes de explicar qué está haciendo la Armada en lo referente a «mantenimiento inteligente» y, en concreto, la Jefatura de Apoyo Logístico, es preciso definir lo que se entiende por tal, porque el común de los lectores de este artículo es muy probable que tenga su propio concepto o, probablemente lo más normal, que no tenga ninguno o no se haya preguntado nunca por este. También es cierto que si entramos en internet encontraremos miles de resultados con definiciones, que aunque con diferencias, suelen tener un hilo conductor común.

Nosotros, lógicamente, nos vamos a ceñir a nuestro ámbito y peculiaridades para proponer nuestra definición. Se podría decir que el mantenimiento inteligente naval consiste en el análisis de los datos de los sensores de nuestros sistemas y equipos mediante técnicas de Inteligencia Artificial (IA) para poder determinar la probabilidad de materialización de sus diferentes modos de fallo (definidos en su FMECA, *Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis*) en el plano temporal (predicción), así como el grado de impacto en su operatividad y la acción más adecuada para evitarla o repararla (reacción) y obtener su mayor disponibilidad posible.

Los ejes de transformación del Apoyo Logístico para alcanzar la capacidad de mantenimiento inteligente están siendo los siguientes:

— Potenciación del CESADAR.

- Dotándole de capacidad de PdM y automatizando las tareas de vigilancia y análisis de los datos de los sensores gracias al desarrollo de

la herramienta ATAVIA (Automatización de Tareas de Vigilancia y Análisis).

- Programas de I + D + i.
 - Desde noviembre de 2019 se desarrolló el programa SOPRENE (Sostenimiento Predictivo basado en Redes Neuronales) para obtener un demostrador tecnológico de mantenimiento predictivo.
 - Está previsto adjudicar y comenzar antes de fin de año el Programa MAPRE (Mantenimiento Predictivo Embarcado).
 - Más adelante se describen sucintamente ambos Programas.
- Convenios/colaboraciones con universidades y Vigilancia Tecnológica.
- Integración de las aplicaciones logísticas en una única plataforma, SIL (Sistema de Información Logístico).
- Integración de SIL con el GD de la *F-110*.
- Despliegue de SIL-ATAVIA en la I3D.
- Colaboración con CESTIC para su validación y aprobación.

Potenciación del CESADAR y Programas de I + D + i

Alcanzar una capacidad de mantenimiento inteligente, no es cuestión baladí y se necesita un proceso de aprendizaje y maduración que dura años. No se puede adquirir o contratar directamente; sería como tratar de saltar antes de saber andar. Implica a la Armada, al astillero y a los proveedores. En el caso de la Armada, este proceso ha llevado alrededor de quince años. Aunque el concepto de la industria 4.0 no aparece hasta 2011, afortunadamente, hubo unos oficiales en la JAL con gran visión de futuro que intuyendo probablemente el enorme salto que se produciría en las capacidades de monitorización de equipos y computación, sí atisbaron la necesidad de la sensorización para obtener datos de funcionamiento y a partir de ahí analizar tendencias y estado de salud de los equipos. Por citar un esfuerzo similar entre los países de nuestro entorno, la Marina francesa empezó en 2020 un proyecto de cinco años de duración para adquirir esta capacidad.

Como podemos ver en la figura 1, para llegar a tener capacidad de mantenimiento predictivo mediante la aplicación de técnicas de IA, hemos tenido que pasar por un largo proceso de madurez y aprendizaje, a la vez que llevar a cabo una considerable inversión en sensorización, capacidad de computación, investigación, formación y de colaboración con el mundo universitario. Especial importancia está teniendo esa colaboración en la potenciación del CESADAR. Los Convenios de Colaboración con la Universidad Politécnica de Cartagena y de Granada, han permitido el acceso a grupos de investigación

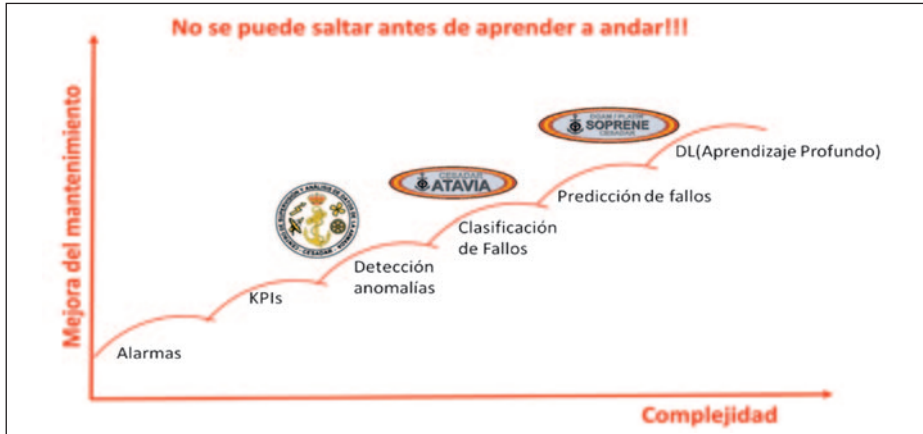


Figura 1

de primer orden nacional en Inteligencia Artificial y disponer de alumnos ingenieros o realizando su máster durante períodos de hasta ocho meses trabajando en el CESADAR, donde han desarrollado un *software* de vigilancia de averías, automatización de rutinas de análisis, cuadros de mando y numerosas mejoras de las funcionalidades del Centro.

Gracias a la sensorización se empezaron a obtener avisos y alarmas de funcionamiento incorrecto de los sistemas y equipos y se empezaron a obtener los primeros indicadores de su estado de salud. En el CESADAR se analizaban la evolución de las diferentes señales y basados en el conocimiento de los expertos del Centro sobre los equipos, se empezaron a detectar anomalías de funcionamiento. Al principio (hasta 2019) de manera gráfica, barco a barco y equipo a equipo, lo que era una auténtica labor artesanal, muy ineficiente y subjetiva. Es en ese año cuando se comienza la gran transformación de los procesos de trabajo del Centro con el lanzamiento de la primera fase de un contrato con NAVANTIA para desarrollar una automatización de ese proceso manual, materializándolo en una nueva aplicación, denominada ATAVIA (Automatización de Tareas de Vigilancia y Análisis).

ATAVIA plasmó la digitalización del conocimiento. Sentó a programadores con analistas expertos y un amplio conocimiento de los equipos y sistemas monitorizados, y empezaron a codificar las diferentes tareas rutinarias de análisis de la evolución de las variables que llevaban a cabo de manera artesanal. Esto se tradujo en la creación de más de 350 *scripts* (1) en lenguaje

(1) Líneas de código de programación, normalmente sencillo, que contiene comandos u órdenes que se van ejecutando de manera secuencial.

Python (a enero de 2021) que automatizaban esas tareas rutinarias del analista y que ahora permiten la detección automática de anomalías mediante reglas expertas.

El siguiente paso fue automatizar la automatización; me explico. Se creó una base de datos con todos los buques y equipos a analizar, de tal forma que según se recibían los datos de los buques se les sometía a la ejecución de los scripts que les correspondían. De esta forma, la intervención humana entraba solamente en el estudio final detallado de aquellos casos en los que se había detectado de forma automática alguna anomalía, se suprimía el error humano en el análisis inicial, se podían clasificar y priorizar los fallos detectados y se ahorra una cantidad ingente de horas de trabajo y esfuerzo.

No obstante, el sistema podía mejorarse. No se trataba solo de detectar anomalías de funcionamiento en tierra (CESADAR) cuando se estaban produciendo o poco antes; queríamos obtener capacidad de predicción, es decir, obtener un preaviso temporal de modo de fallo, con probabilidad de suceso, impacto y reacción recomendada. Para llegar a esa capacidad predictiva, la Armada, a propuesta de AJAL, presentó a la DGAM (PLATIN) la ejecución de un programa de I + D + i denominado SOPRENE (Sostenimiento Predictivo basado en Redes Neuronales), que tras algo más de dos años de andadura finalizó en febrero de 2021 con la entrega de un demostrador tecnológico de mantenimiento predictivo y, lo más importante, con una transferencia de conocimiento muy importante, así como un producto escalable, abierto y de propiedad industrial del MINISDEF.

Recapitulando, el CESADAR cuenta a día de hoy con dos aplicaciones, ATAVIA y SOPRENE, que proporcionan respectivamente un sistema de detección de anomalías de funcionamiento de equipos monitorizados basado en reglas expertas y un sistema de predicción de averías de estos mediante IA. En ATAVIA son analizados todos los sistemas y equipos embarcados que están sensorizados, pero en SOPRENE de momento solo están los propulsores de los BAM y los generadores de las *F-100*. Se han iniciado en el mes de abril los trabajos de inclusión de las turbinas LM-2500 y se irán introduciendo el resto de equipos, de estos y otros buques, a medida que las circunstancias lo permitan.

Actualmente, se están integrando ambas aplicaciones; ATAVIA absorberá las funcionalidades predictivas de SOPRENE, es decir, los usuarios de ATAVIA podrán tener acceso a todo el catálogo de funcionalidades de ambas. Simultáneamente, se va a comenzar el despliegue de servidores de ATAVIA para dar servicio a todos los usuarios de la I3D que requieran tener acceso (en principio, personal de JAL, arsenales y buques). A su vez, ATAVIA será una solución más de la plataforma SIL (Sistema de Información Logístico) y, por tanto, el acceso a sus funcionalidades se hará a través del portal de SIL con las credenciales de usuario de DICODEF.

Voy a tratar de explicar cuál es el «recorrido» de los datos desde su origen hasta que se produce una predicción de su estado de salud (ver figura 2). Los

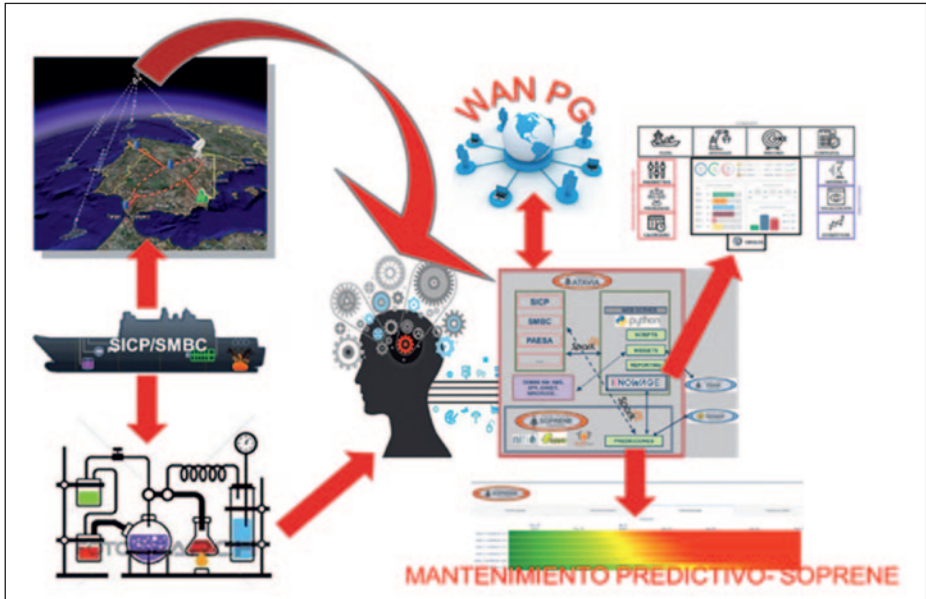


Figura 2

sensores de parte de los sistemas y equipos de nuestra Flota, principalmente instalados en la propulsión, la generación eléctrica y las máquinas auxiliares, están conectados a dos sistemas, el SMBC (Sistema de Mantenimiento Basado en la Condición) y el SICIP (Sistema Integrado de Control de Plataforma). Sus datos son enviados al CESADAR (Centro de Supervisión y Análisis de datos de la Armada) a través de Intranet cuando están en sus bases o de satélite cuando están fuera de ellas.

En paralelo, las materias de servicio (combustible, aceites, aguas, etc.), son enviadas a analizar a los laboratorios de los arsenales e INTA (programa PAESA (2) y los informes de estos se vuelcan en las BBDD del CESADAR para su estadística, control y posibles avisos a los responsables de los sistemas de origen, en caso de resultados anómalos. La solución ATAVIA se complementa con un cuadro de mando de BI (*Business Intelligence*) para apoyo a la decisión del mando logístico, desarrollada sobre la herramienta de código abierto «Knowage». También incluye dos módulos *software*, denominados

(2) PAESA es un programa del INTA que data del año 1969. Inicialmente, su ámbito de aplicación se centraba en el control de la evolución del desgaste de los motores de aviación militares. Con el tiempo, PAESA ha ido ampliando su utilización a otros tipos de sistemas mecánicos lubricados, como un servicio a la industria, Armada española y a organismos oficiales.

VIDAR (Visualización Inteligente de Datos) y DIANAR (Detección Inteligente de Anomalías) respectivamente, para visualizar los datos de forma inteligente y analizar y comparar las variables entre sí para obtener su relación con la causa de modos de fallo de equipos.

Estas redes de sensores a bordo constituyen nuestra nube privada de IoT (*Intranet of Things*). Para hacernos una idea de la dimensión de nuestra IoT, hay que decir que el SMBC de un BAM tiene alrededor de 400 acelerómetros distribuidos en unos 160 equipos monitorizados, lo que se traduce en algo más de 5.000 señales virtuales y unos 200 Mb de información al día. Si tenemos en cuenta que tenemos sensorizados 32 buques y que hay bastantes equipos redundantes e iguales en diferentes buques, podemos ver la excelente base de datos (BD) histórica de funcionamiento que constituye nuestra IoT. Esta BD, la relación/implicación de los valores de los sensores en los posibles modos de fallo desglosados y analizados en los FMECAs de los equipos, y su tratamiento mediante IA, nos va a permitir llegar a predecir la probabilidad de acaecimiento, su criticidad y el momento en que se van a producir los diferentes modos de fallo.

Probablemente, no haya pasado inadvertido al lector que la solución ATAVIA (con la capacidad predictiva de SOPRENE integrada) es una solución que reside en el CESADAR, en tierra. Es cierto que en el despliegue que está previsto realizar en 2021, los usuarios de la I3D (Infraestructura Integral de Información para la Defensa) podrán acceder a la aplicación y gestionar sus análisis o visualizar los de los analistas del centro, pero también es cierto que cuando los buques, destinatarios principales del sistema, estén navegando, obtendrán esta información con retraso; por un lado los datos del buque se envían en bloques solo por la noche, luego se encolan en la computación con el resto de buques y, por otro, el acceso vía *web* está muy limitado por el ancho de banda satélite disponible. En el caso de los submarinos, cuya baza principal es la discreción y, por tanto, no tendrán la posibilidad de comunicaciones satélite más que esporádicamente, el problema se agrava, aparte del menor ancho de banda disponible respecto a los buques de superficie. Todo ello puede hacer que la detección o predicción no se obtenga a tiempo de evitar daños catastróficos o de importancia. Estas razones, nos llevan a concluir que es necesario llevar estas capacidades a bordo.

Para ello, se ha diseñado una doble línea de acción. La primera, la contratación con NAVANTIA del desarrollo de un servidor de ATAVIA (sin módulo predictivo) desplegable, denominado MEVIMAN (Módulo Embarcado de Vigilancia de Mantenimiento). No se ha incluido la capacidad predictiva porque los recursos de computación necesarios, a pesar de reducirse a los sistemas y equipos de un solo buque, no son compatibles con la capacidad existente a bordo actualmente y la idea es que estas soluciones no sean solo aplicables a las futuras unidades (*F-110*), sino a toda la Flota. Se espera poder empezar a desplegarlo en el primer trimestre de 2022. Se considera que

MEVIMAN va a ser de especial importancia para el *S-80*, habida cuenta de la problemática ya citada en el párrafo anterior.

La segunda, ha sido la propuesta a la DGAM de un programa de I + D + i, denominado MAPRE (Mantenimiento Predictivo Embarcado) que se estima quede adjudicado a final de 2021, tiene una duración prevista de dos años y un coste de algo más de 500 K€. El alcance del proyecto se concreta en «la obtención de un sistema experto para la predicción a bordo (PAB) de averías e indicadores de mantenimiento predictivo, basado en arquitecturas IA (físicas y lógicas) y técnicas asociadas al soft computing, llevando su computación a bordo junto a la sincronización con los sistemas de predicción basados en IA en tierra (SOPRENE o «Predictor en Tierra»: PET) (3). Simplificando, podríamos decir que se trata de embarcar el sistema SOPRENE con sus algoritmos de predicción, actualizando y ejecutando los cálculos a bordo en tiempo real, con los datos que estén siendo generados por la plataforma y sincronizando con ATAVIA-SOPRENE en tierra. Ello requiere su «miniaturización» para poder ejecutarse a bordo de unidades donde existe una considerable menor capacidad de computación que en CESADAR; el programa también incluye el desarrollo de sensores inteligentes, siguiendo la tendencia del «Computing on the edge», o Computación distribuida (4).

Por todo lo anterior, el desarrollo propuesto cumple con un objetivo de la máxima prioridad para la JAL, como es la de mejorar continuamente la capacidad de mantenimiento predictivo y basado en la condición e implementar su modelo de mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM), así como complementar la capacidad del CESADAR, proporcionando capacidad predictiva de forma descentralizada a bordo de las unidades.

MAPRE permitirá a las dotaciones de los buques tener predicción de malfuncionamientos de los sistemas monitorizados, pudiendo actuar con mayor rapidez ante los avisos, dejando de depender del ancho de banda de satélite y del análisis en ATAVIA en tierra, siendo de especial importancia su empleo a bordo de submarinos *S-80*, como ya se ha dicho anteriormente.

El programa MAPRE, se abordará en seis fases. En las cuatro primeras se efectuará una revisión del sistema actual (SOPRENE) y un análisis para propuestas de mejora y procedimentación de uso del sistema SOPRENE para uso mixto tierra-embarcado. Seguirá a esta fase el diseño del prototipo a embarcar, el desarrollo de FMECAs adaptados a predicción, la definición del protocolo de entrenamiento, la verificación y validación del sistema y su funcionamiento a bordo de las unidades, y su sincronización con los sistemas en tierra.

(3) Según consta en su PPT.

(4) Paradigma informático distribuido que acerca la computación y el almacenamiento/procesado de datos a la ubicación donde se necesita para mejorar los tiempos de respuesta y ahorrar ancho de banda.

En paralelo a las cuatro fases descritas anteriormente, en una quinta fase, se diseñará y desarrollará un sensor inteligente orientado a detección de malfuncionamiento de equipos o componentes. Este sensor inteligente deberá ser autónomo en su computación (*Computing on the edge*), de fácil instalación por la dotación del buque y debe remitir sus resultados de predicción a los sistemas embarcados ligados al mantenimiento predictivo a bordo, centralizados en SIL-ATAVIA desplegado (MEVIMAN). Sus resultados deben poder aliviar las tareas de computación ligeras y específicas que puedan ser desempeñadas por estos sensores inteligentes o nodos. El objetivo es llevar parte de la computación a los nodos del sistema de monitorización de la condición de equipos. En una sexta fase, una vez validado el diseño del sensor inteligente y su prototipo, se fabricará en torno a 20 unidades de estos sensores para pruebas y validación.

Los objetivos del «Predictor en Tierra» (PET) y el «Predictor A Bordo» (PAB) son predecir, para un activo concreto y seleccionando un horizonte temporal determinado o una fecha futura, su estado general o disponibilidad (salud, en porcentaje), así como la probabilidad de acaecimiento de un modo de fallo de los contenidos en los FMECA. La salud del activo tendrá en cuenta la probabilidad de ocurrencia de un modo de fallo y la criticidad o prioridad del mismo (función de frecuencia y severidad).

Además de lo anterior, teniendo en cuenta predicciones para todo un buque, el PET y el PAB ofrecerán salud general de un buque concreto o de un conjunto de buques seleccionados (Flota). Estas predicciones estarán enlazadas a categorización logística de cada activo UNOR/HSC, para ser legibles directamente por terceras aplicaciones como SIL-GALIA.

El fin último es el de poder determinar la disponibilidad de equipos para poder optimizar los mantenimientos a realizar sobre los mismos, aumentar la fiabilidad de las dotaciones en sus activos, mejorar la información de la cadena logística sobre los equipos embarcados y la operatividad de las unidades de la Armada. El sistema diseñado y desarrollado durante este I + D + i habrá de ser escalable y de fácil adaptación a otros equipos embarcados.

Convenios/colaboraciones con universidades y vigilancia tecnológica

Este apartado es de especial importancia. Las universidades cuentan con grupos de investigación de altísimo nivel en las nuevas tecnologías y se encuentran en el estado del arte, especialmente en el tratamiento de volúmenes masivos de datos y la aplicación de IA. El poder contar con contactos, colaboraciones y, sobre todo, convenios, nos ha permitido aprender, contrastar soluciones, desarrollar modelos de comportamiento, algoritmia y maquetas digitales de sistemas, etc, que han convertido al CESADAR en un centro de conocimiento y aplicación de *big data* e IA pionero en el Ministerio de Defensa.

En concreto, tenemos dos Convenios suscritos con la Universidad de Granada, UGR, «para la realización de actividades formativas y de investigación en los campos de inteligencia artificial, *big data*, mantenimiento predictivo y de cualquier otro ámbito de interés mutuo» y con la Politécnica de Cartagena, «para la realización de prácticas académicas tuteladas en dependencias del Arsenal Militar de Cartagena», que están dando excelentes resultados y permitiendo la creación y mejora de las funcionalidades de ATAVIA. Sirva como ejemplo el proyecto que se está llevando a cabo con la UGR y a través de su relación con la Universidad de Salamanca, consistente en el desarrollo del gemelo digital de un diésel generador de las *F-100*, para cuya digitalización 3D mediante nube de puntos se han empleado el LIDAR (*Laser Imaging Detection and Ranging*), cámaras de fotogrametría y *software* de procesamiento de la USAL (ver figura 3).

Por otro lado, a través de SOPRENE, han participado en el desarrollo de la algoritmia de IA las universidades de Alcalá de Henares y A Coruña. Con esta última y con fondos de ISDEFE, también se está haciendo un pequeño I + D para determinación de repuestos necesarios en función de la predicción de averías.

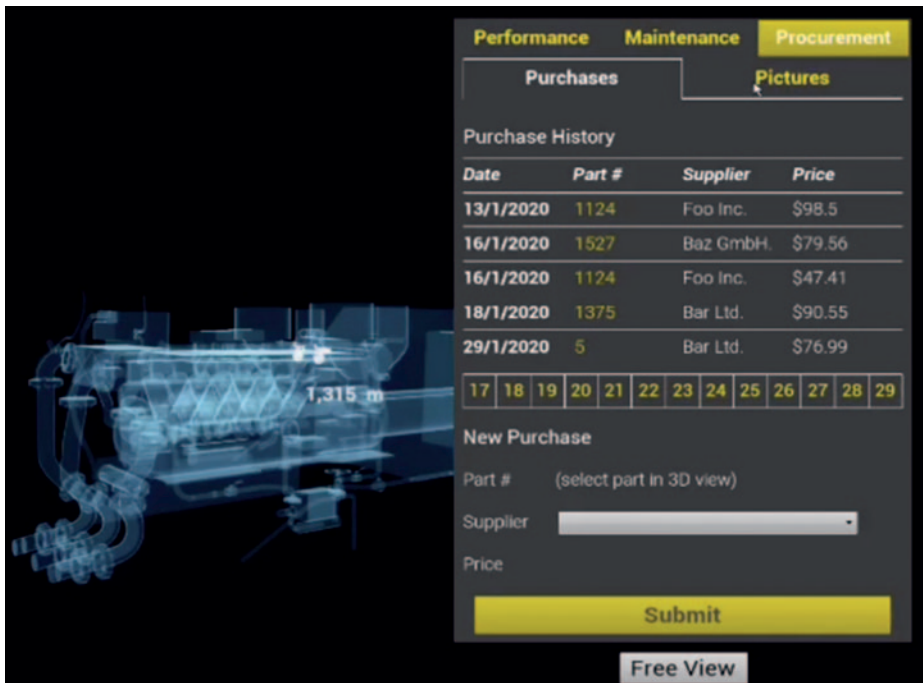


Figura 3

Integración de las aplicaciones logísticas en una única plataforma, SIL

Para poder gestionar el sostenimiento de la Armada es necesario disponer de una solución informática moderna y eficaz, con Bases de Datos (BBDD) que ofrezcan calidad y unicidad del dato y las cinco uves del *Big Data*: volumen, velocidad, veracidad, variedad y valor. Además, esa solución tiene que aportar indicadores de rendimiento y cuadros de mando, realizar un uso inteligente de los datos de los que dispone, a fin de tomar las decisiones más adecuadas, que tenga, en definitiva, capacidad de *Business Intelligence* (BI).

Desde los 90, la gestión logística se viene haciendo en aplicaciones separadas (mantenimiento y aprovisionamiento principalmente; GALIA-Arsenales, GALIA-Aeronaves, SIGMA-WEB, SIGAPEA, JALVAROP, PIDAWEB), que empleaban lenguajes de programación y BBDD diferentes y entrando en desuso o superadas por otras con características muy superiores, al margen de otros problemas (ver figura 4). Se vio que era imprescindible acometer la integración de todas esas aplicaciones en una única plataforma logística de la Armada, que estará constituida por dos componentes principales, GALIA II y ATAVIA, que, en su conjunto, se denominó SIL (Sistema de Información Logístico). Desde entonces se inició este complejo y largo proceso, que se prevé pueda finalizarse en 2024 en su parte principal.

La solución final estará basada en una arquitectura. NET Core Blazor con una Base de datos SQL Server, que contempla cuatro entornos: desarrollo (en la JAL), pre-producción, producción y formación (los tres últimos en el CESTIC). Constará de los siguientes módulos:

- Ingeniería: Comprende funcionalidades que soportan las actividades necesarias para la adecuación de los sistemas a los requisitos operativos de la Armada, el control de su configuración y la determinación,

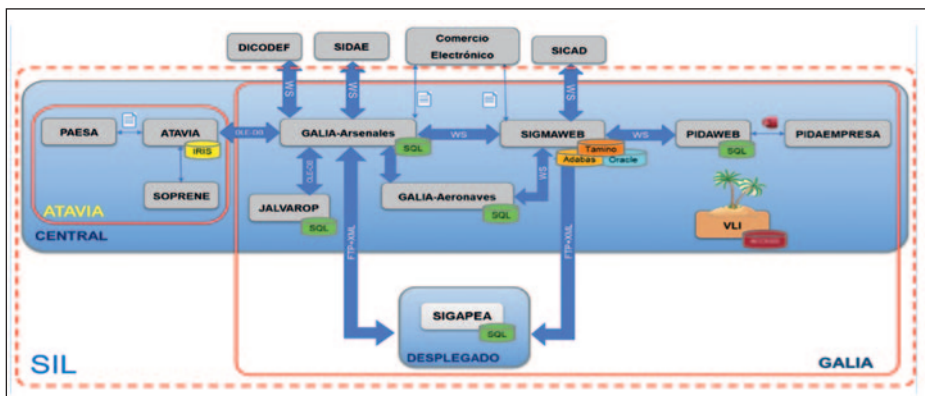


Figura 4

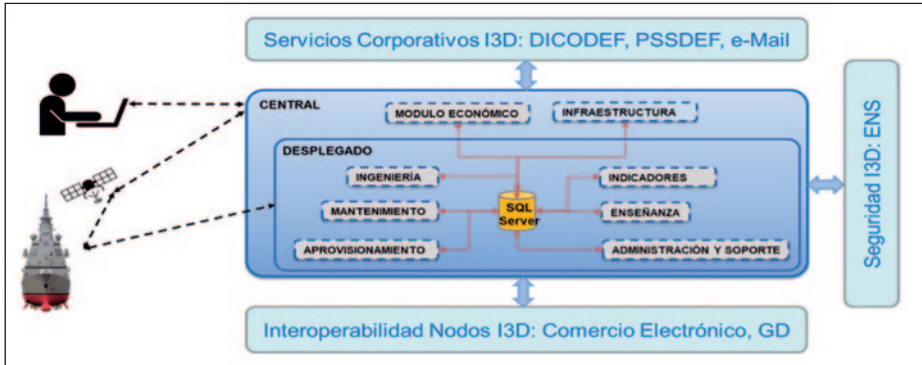


Figura 5

evaluación y mejora del apoyo que los sistemas y equipos que lo componen requieren a lo largo de su vida operativa. Destacar, entre otras, las actividades relacionadas con la configuración, la documentación técnica, sus procesos revisión y aprobación, evaluación de cambios o mejoras a los sistemas, la gestión de certificados, la certificación de partes de mantenimiento, cálculo de operatividades y gestión de vuelos.

- Mantenimiento: Comprende funcionalidades que soportan las actividades encaminadas a que un sistema conserve la capacidad que le permita el cumplimiento de las misiones para la que fue concebido. Son actividades del mantenimiento todas aquellas que permitan mantener el material y los equipos en condición operativa o devolverlos a esa condición desde cualquier otra, así como la realización de las modificaciones necesarias con el fin de actualizar sus capacidades. Destacar, entre otras, las actividades relacionadas con la planificación del mantenimiento, la gestión de los partes de mantenimiento y el control de su ejecución.
- Aprovisionamiento: Comprende funcionalidades relacionadas con la previsión, obtención, almacenamiento y distribución de los medios materiales para satisfacer las necesidades de las Unidades y Sistemas en lo referente a Municionamiento, Combustibles, Vestuario, Subsistencias, Repuestos y Pertrechos.
- Monitorización y análisis (ATAVIA): Comprende funcionalidades relacionadas con la monitorización y control de los sistemas de las unidades, para el apoyo a decisiones de mantenimiento basado en la condición. Constituye el principal motor del CESADAR, y permite el desarrollo e integración de los modelos predictivos a implantar en las unidades.

- **Gestión económica:** Comprende las funcionalidades relacionadas con la gestión de los recursos de SIDA E, expedientes y ofertas así como el control de la facturación, gasto y, en general, todas aquellas actividades administrativas generales ligadas a los contratos que no se encuadran en una funcionalidad general específica de las existentes (ingeniería, mantenimiento, aprovisionamiento, etcétera).
- **Administración:** Comprende las funcionalidades relacionadas con la propia gestión de los cambios del sistema GALIA II, la administración de los usuarios y el soporte a los mismos, la gestión de los avisos y mensajería automatizada, las comunicaciones de los usuarios (notificaciones y foros), la configuración de los parámetros configurables del sistema y los procesos automatizados, el mantenimiento de la estructura logística. Incluye también aquellas utilidades simples no relacionadas directamente con tareas logísticas.
- **Indicadores:** Comprende las funcionalidades relacionadas con el cálculo de indicadores, gráficas e informes para facilitar el seguimiento y la toma de decisión en el ámbito de gestión logística realizada por el usuario. Estos indicadores están predefinidos por rol.
- **Enseñanza:** Comprende el adiestramiento y la formación de los usuarios el uso y explotación del sistema de GALIA II. Esto incluye el material multimedia (casos de uso más usuales, píldoras formativas, etc.) como el propio entorno de formación.

Integración de SIL con el GD de la F-110

El GD consta de tres instancias diferentes, para la Armada son de especial interés las GDMD y GDAB, no tanto la GDCO (5). Por su parte el SIL está compuesto de dos sistemas diferentes (GALIA II y ATAVIA), con plataformas a bordo de las unidades o en tierra.

La figura de la página siguiente ilustra la interconexión/sincronización entre SIL y GD.

El Sistema Integrado de Control de Plataforma (SICP) y el sistema de Mantenimiento Basado en la Condición (SMBC) enviarán sus datos a ATAVIA desplegado, donde serán procesados para determinar el estado de salud de los sistemas o equipos (S/E en adelante). SIL desplegado estará conectado con SIL central para sincronización entre ambos y SIL central estará conectado con el GDMD para intercambio de información (la línea roja discontinua refleja necesidades de sincronización pendientes de definir). Los

(5) Gemelo Digital del Ministerio de Defensa, A Bordo y del Contratista, respectivamente.

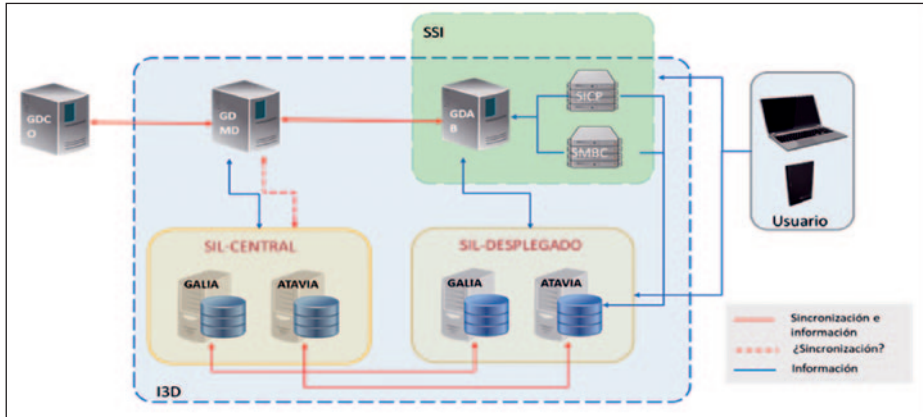


Figura 6

tres GDs (GDCO, GDMD y GDAB) estarán conectados para intercambio de información y sincronización, donde la gestión de la configuración logística requerirá una atención y detalle de gran importancia para mantener la coherencia y control.

A bordo, los usuarios del GDAB tendrán acceso a las funcionalidades logísticas, mediante las tablets o teléfonos inteligentes autorizados, desde cualquier localización del buque a través del SSI (Sistema de Servicios Integrados), que despliega capacidad *wi-fi* en todas las luminarias.

Las funcionalidades logísticas se ejecutarán por defecto en el SIL. El principio general es el acceso a la función relevante del SIL, a partir de la cual la actividad del usuario se desarrolla en el sistema logístico. La función del GD en el apoyo al sostenimiento se realizará en los siguientes ejes: proporcionar visualización de navegación sobre maqueta digital 3D, asistencia remota con capacidad de Realidad Virtual (RV) o Realidad Aumentada (RA) para reparación de averías o ejecución de mantenimientos, gestión de las tareas de mantenimiento o lanzamiento personalizado de funcionalidades de apoyo (en el SIL), gestión de discrepancias de configuración, impresión 3D e información logística en tiempo «real» sobre el GD, tanto de la sensorización de aquellas variables de los S/E que apoyan la evaluación de la condición, como de los datos relevantes de su «estado de salud» provenientes de SIL-ATAVIA.

Despliegue de SIL-ATAVIA en la I3D

Desde que se empezó el desarrollo de ATAVIA y se finalizó el programa SOPRENE, los servidores del sistema han estado accesibles de manera expe-

rimental a un grupo de usuarios reducido. Se considera que la primera versión estable y operativa estará disponible en septiembre de 2021. Se han hecho miles de pruebas y validaciones y queda todavía un largo camino de mejoras que ya se tienen pensadas para ir desarrollando conforme se disponga de presupuesto y tiempo. El software empleado es libre con capacidad de modificación y escalabilidad y es el adecuado para el tratamiento de grandes volúmenes de datos y aplicación de técnicas de inteligencia artificial, pero evidentemente es de total actualidad y no estaba contemplado en la arquitectura técnica unificada CIS del Ministerio. Ha sido un reto enorme el poder configurarlo para su despliegue en la I3D. En ello ha jugado un papel fundamental el CESTIC, sin cuya implicación y ayuda no hubiera sido posible.

Está previsto empezar a configurar los servidores de ATAVIA para su despliegue durante el segundo semestre de 2021, y que durante el primer semestre de 2022 quede plenamente operativo para sus usuarios (Grupos de Apoyo al Sostenimiento, GAS, Jefaturas de Mantenimiento, buques, Ramos de Arsenales, etcétera).

Conclusiones

La Jefatura de Apoyo Logístico ha llevado a cabo un considerable esfuerzo desde hace quince años para alcanzar la capacidad de mantenimiento predictivo, potenciando el CESADAR y la transformación digital de su apoyo, introduciendo las tecnologías habilitadoras de la industria 4.0 e incrementando la colaboración con el mundo académico, con el objetivo de proporcionar días de mar de calidad, extender la disponibilidad operativa de las unidades en la mar, obtener un sostenimiento más eficiente y aumentar la seguridad operativa de la Flota. Este esfuerzo nos permite estar en vanguardia tecnológica y encarar los retos del futuro desde una posición favorable, si bien es necesario su mantenimiento y evolución.

BIBLIOGRAFÍA

- PPT Programa I + D + i MAPRE «Mantenimiento Predictivo Embarcado». DGAM-PLATIN. 2021.
- F-110*. CONOPS GEMELO DIGITAL. Documento núm.: 00A1020009R. NAVANTIA-OP F110. 2021.
- Data Drop Logístico. Grupo de Trabajo del Gemelo Digital de la *F-110*. 2020.
- LAMAS, Francisco; NOVOA, David; EIRAS, Carlos; FONTENLA, Oscar: *Mantenimiento predictivo de motores de buques mediante aprendizaje automático*. 2020.
- Documento de Necesidad de Sostenimiento (DNS). Programa de apoyo al ciclo de vida de los submarinos *S-80*. 2020.
- PPT Programa I + D + i SOPRENE «utilización de redes neuronales como método para mantenimiento basado en la condición en los buques de la armada». DGAM-PLATIN. 2018.
- Concepto de Apoyo Logístico de 6 de julio de 2017. EMA.

Helicóptero *SH-60F* sobrevolando un *SH-60B*. (Foto: Marcos Vales Fincias)

