

# EMBARQUE DE SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN DE VIGILANCIA DE ACTIVOS. PROYECTO MEVIMAN

Francisco LAMAS LÓPEZ  
Doctor ingeniero ENPC ParisTech



N este artículo se describe de forma general el proceso que se ha seguido hasta llegar a la automatización de procesos de vigilancia en CESADAR y que ha desembocado en el embarque de un sistema de análisis y monitorización a bordo denominado MEVIMAN (Modulo Embarcado de Vigilancia para el Mantenimiento). El objetivo principal es dar al lector, desde un punto meramente divulgativo, los puntos clave necesarios para comprender la arquitectura, funcionalidades, objetivos y capacidades potenciales del sistema. Se intentará utilizar un lenguaje que haga comprensible para todo lector el proceso

de automatización del análisis de datos, evitando tecnicismos que no sean necesarios para un artículo de este tipo. Algunos de los hechos descritos se van a resumir para hacer un artículo completo pero compacto. Por ello, el autor se disculpa de antemano si no ha podido describir algún hecho en la profundidad que el lector hubiese deseado.

## Introducción

El CESADAR (Centro de Supervisión y Análisis de Datos de la Armada) se establece de forma oficial en 2011, situado entonces en la estructura orgánica del Arsenal de Cartagena. La elección de este Arsenal se debió entre otros

motivos a que algunos de los impulsores en su creación (en torno a los años precedentes 2004-2008) fue el personal de NAVANTIA-Sistemas destinado en Cartagena (desarrolladores del SICP, cuyas oficinas están junto al astillero NAVANTIA-Cartagena), esto sumado a la acción y voluntad de almirantes jefes del Arsenal de Cartagena de esa época (debiendo citar en este punto al almirante general Jaime Muñoz-Delgado y Díaz del Río, almirante. Manuel Otero Penelas y vicealmirante Rafael Martín de la Escalera Mandillo) y a que los primeros buques prototipo con este sistema se encontraban en este Arsenal (*M-11 Diana*).

El objetivo de este Centro de nueva creación era: «El análisis de las señales recibidas por cada buque en aras de apoyar el mantenimiento predictivo de sus activos de plataforma naval embarcados, con el objetivo de proporcionar días de mar de calidad y fiabilidad a los buques».

Para ello se establecieron distintas técnicas que apoyarían esta búsqueda de operatividad de equipos navales (como análisis de vibraciones de motores y análisis de termografías entre otras) y se formó en ellas a equipos técnicos en los distintos Arsenales, que constituirían el núcleo de los CESADARES-Periféricos. El CESADAR-Central en el Arsenal de Cartagena se encargaría de coordinar la ingesta y estructuración de los datos para posteriormente replicarlas en servidores ubicados en los distintos Arsenales para ponerlos a disposición del distinto personal de los CESADARES-Periféricos. El análisis de datos SICP, centralizados y replicados desde el Arsenal de Cartagena consistía en el análisis visual de parámetros por parte de analistas (militares, civiles del MINISDEF, junto a personal de NAVANTIA hasta 2013). Se desconocía por el personal del MINISDEF tanto el código fuente de la aplicación de lectura de la BD utilizada, así como la estructuración de la base de datos utilizada entonces. Se utilizaba a bordo la BD propietaria Caché IRIS 2009 para estructurar y registrar en su época de forma óptima variables temporales, esto estuvo condicionado en la época de los 2000, durante la construcción de las *F-100*, en los que la memoria secundaria era demasiado cara y se requería optimizar con procesos complejos el registro de variables temporales. Es por ello por lo que se prefirió estructurar los datos en tierra de la misma forma que se registraban a bordo. No se podía operar con estos datos más allá de la aplicación desarrollada por NAVANTIA (CESADAR v1, 2008) para su análisis visual por humanos de líneas temporales de parámetros. El personal del CESADAR no podía operar los datos más allá de la aplicación cliente desarrollada por NAVANTIA (junto a otras subsidiarias como ARISNOVA), lo cual condicionaba al Ministerio de Defensa en su gestión del conocimiento sobre los programas y sistemas en operación. Esto limitó la posibilidad de escalabilidad del sistema (condicionada al conocimiento del desarrollador) para adaptar el análisis y sus procesos a técnicas más modernas apoyadas en capacidad de automatizar tareas de vigilancia por computación. La búsqueda de fallos o anomalías en los activos de plataforma naval se

convertía prácticamente en la búsqueda analógica/visual de una «aguja en un pajar».

Se comenzó en 2011 recibiendo datos de una docena de buques, número que se fue ampliando sucesivamente hasta los 32 buques actuales de los que se reciben datos en el Centro en 2021. El primer buque del que se disponen datos en el histórico de CESADAR es del M-11 *Diana* en 2004 (años en los que se empezó a diseñar la colecta de datos en tierra, antes del establecimiento oficial del Centro), con muy pocos sensores a bordo y el último buque en sumarse al sistema ha sido el M-33 *Tambre*. Del buque que más datos llegan a recibirse diariamente por número de sensores (más de 30.000 señales de parámetros provenientes de más de 10.000 sensores) es del L-61 *Juan Carlos I* y el buque que más volumen de datos diarios genera es el BAM P-45 *Audaz* y P-46 *Furor* debido a los modernos sistemas SMBC (Sistema de Mantenimiento Basado en la Condición) que tiene embarcados.

Como se ha descrito anteriormente, hasta 2013 hubo personal de NAVANTIA en CESADAR-Central que apoyó en las tareas de análisis (entonces visual) de datos SICP y SMBC, pero este contrato no se continuó a partir de 2013 y quedó en el Centro únicamente el personal militar y civil del Ministerio de Defensa. Los análisis se basaban enormemente en conocimiento experto humano y análisis visuales de resultados, sin capacidad de automatizar mediante *script* los análisis que fueran posibles por la ilegibilidad desde terceros programas de las bases de datos utilizadas en CESADAR. Este tipo de análisis, altamente dependientes de la «materia gris» y experiencia de cada analista, se quedaron así hasta el comienzo del programa ATAVIA (Automatización de Tareas de Vigilancia y Análisis) aun siendo algunos procesos de análisis totalmente parametrizables y automatizables. ATAVIA, base del programa MEVIMAN, se describe en el siguiente apartado.

## Digitalización del conocimiento experto, apoyo al diagnóstico

Desde 2017 comenzaron a definirse distintas estrategias de aplicación de IA (Inteligencia Artificial) para realizar predicciones de malfuncionamientos o anomalías en los activos de plataforma naval sobre datos CESADAR. Sin embargo, antes de poder llegar al uso de la IA para realizar predicciones había que reestructurar las BBDD para hacerlas operables y legibles desde terceras herramientas. Es decir, había que tomar el control sobre los datos generados. Para ello, se realizó una auditoría en septiembre de 2017 y comenzaron a establecerse distintas estrategias dirigidas a:

- Estructuración conveniente de los datos.
- Presentación de resultados con técnicas de *Business Intelligence*.

- Digitalización del conocimiento humano para automatizar tareas de vigilancia.
- Aplicación de técnicas de *BigData* e IA para realizar predicciones.

Se definió una estrategia para realizar distintas acciones que nos permitiesen avanzar peldaño a peldaño y escalar de forma conveniente. En 2018, se consiguió finalmente obtener el código fuente de la anterior herramienta CESADAR v1 (herramienta que requería de instalación de ejecutable en puesto cliente y limitaba el acceso a los datos por parte de personal Armada) y conocer la estructura de la BD. A partir de ahí lo primordial era desarrollar una herramienta que permitiese pasar de un análisis visual a otra que nos permitiese integrar el conocimiento experto en base a reglas humanas y automatizar los análisis del Centro (antes de llegar a las predicciones basadas en IA). Del mismo modo, otro de los objetivos fue hacer accesibles los datos y funcionalidades CESADAR desde una aplicación web que eliminara las restricciones de tener que instalar una aplicación cliente en los puestos de trabajo.

Para lograr esta automatización se originó el proyecto ATAVIA (Fase 1) en 2018. Su primer objetivo fue desarrollar el germen de una herramienta que estructurase los datos de una forma fácilmente legible por terceros programas (series temporales reordenadas convenientemente en las tablas de cada buque), con capacidad de automatizar tareas de vigilancia en base a *scripts*. Estos *scripts* contendrían el conocimiento humano experto de los analistas de CESADAR. Esto es de capital importancia, pues eliminamos al humano de las tareas repetitivas, aprovechamos capacidades de computación disponibles (aumentando capacidades de búsqueda de malfuncionamientos) y dedicamos a los humanos a procedimentar nuevos tipos de análisis.

Los *scripts* de reglas humanas expertas para realizar análisis automáticos deben integrar conocimiento de fabricante del equipo, integrador de sistemas y operadores de plataforma.



Fig. 1. Algoritmia para digitalización del conocimiento experto en base a reglas

Estos deben suponer una fuente de valor añadido, de conocimiento acumulado y de experiencia sobre los equipos que operamos en la Armada. Evitando que el conocimiento digitalizado se pierda o disipe cuando personal embarcado cambie de destino, pase a reserva o pase a retiro. El proceso de digitalización de *materia gris* humana es una tarea que llega a involucrar a varios tipos de perfiles en CESADAR, como muestra la figura 1:

- Desarrollador de entorno de ejecución de scripts.
- Expertos en operación del activo de plataforma naval en cuestión.
- Desarrollador de scripts.
- Analista o validador de resultados en pruebas (preproducción).
- Administrador de sistema (puesta en producción).
- Expertos en análisis numérico (casos de regresión multivariable).
- En determinados casos: fabricante e integrador de los equipos.

En el caso de CESADAR, el lenguaje utilizado para la digitalización del conocimiento humano es «Python», pero al utilizar «Apache SPARK» para distribuir la computación entre los núcleos de procesamiento de los distintos servidores del sistema, se utiliza una adaptación de este denominado *PySpark*. Las tareas de digitalización del conocimiento no son triviales y, por lo tanto, no se debe, ni se puede, trabajar directamente en el entorno de producción. Es, por ello, que en el caso de ATAVIA existen dos entornos de trabajo, una «Isla» de desarrollo para la preproducción y pruebas (trabajo de desarrollo de personal de CESADAR, alumnos de universidades, formación y empresas contratistas) y un entorno de producción en WAN-PG (para el personal dotación de buques y resto de personal del apoyo logístico en general), como se ilustra en la figura 2. Este último contiene las versiones estables de la herramienta y los scripts validados para uso general.

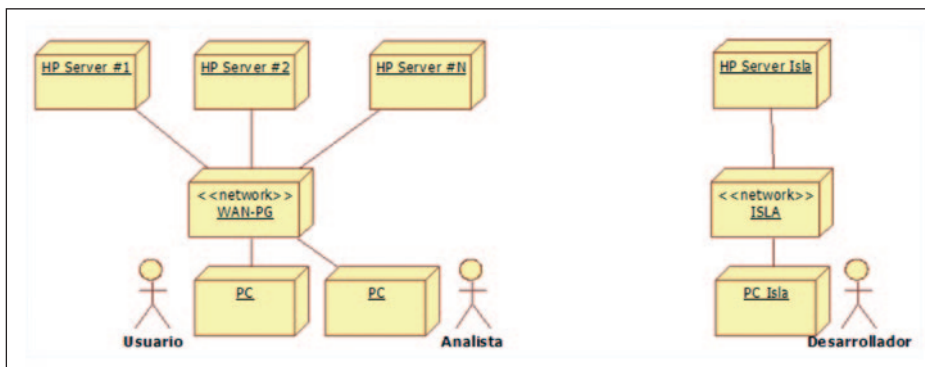


Fig. 2. Despliegue físico ATAVIA y MEVIMAN. Dos entornos diferenciados, pre-producción (ISLA) y Producción (WAN-PG)

Es importante señalar que estos *scripts* no solo pueden implementarse para buscar malfuncionamientos/anomalías, sino también realizar cálculos de todo tipo con los datos SICP y SMBC disponibles. Desde calcular el número total de millas náuticas navegadas por un buque un año concreto, a calcular, por ejemplo, el consumo en m<sup>3</sup> de todos los tanques de servicio de un buque durante los últimos cinco años (u otro parámetro o KPI que se requiera). Las posibilidades son infinitas, puesto que ahora se tiene un control total de los datos generados por nuestros buques. Cualquier dato generado con los *scripts* puede disponerse en paneles de control dinámicos a disposición de cualquier persona de la Armada en WAN-PG, desde un panel de control de la Flota, un panel de comparativa de actividades para el COVAM o un panel para el jefe de Máquinas de un buque. Algunos de estos paneles ya están accesibles desde ATAVIA (este es el proyecto VIDAR, que comenzó siendo un proyecto paralelo con alumnos de la UPCT y que ha terminado siendo una herramienta básica para mostrar resultados de una forma sencilla y accesible a todo el personal de Armada).

Los conjuntos de *scripts* dedicados a búsquedas de malfuncionamientos o anomalías están divididos en Buque/Sistema/Equipo (siguiendo esquema UNOR + HSC). Sus «alarmas/malfuncionamientos/anomalías/información computada» se codifican según estos parámetros logísticos para hacerlos accesibles y legibles a terceros programas del apoyo logístico. El resto de *los scripts* (cálculo de consumos, cálculo de actividad, etc.) vienen asociados a cada UNOR (BUI). Igualmente, ATAVIA permite llevar un seguimiento de configuración de equipos embarcados según HSC + número de serie entre dos fechas dadas (por si hubiera cambios de equipos entre barcos, poder hacer seguimiento de alarmas de un equipo concreto).

Cada nodo de ATAVIA (considerando como nodo un servidor) se compone principalmente de tres elementos, según se ilustra en la figura 3:

- La aplicación *web* propiamente dicha (a la que accedemos desde nuestro puesto cliente).
- El *worker* de computación SPARK (que recoge órdenes de trabajo de la aplicación).
- La Base de Datos del histórico SICP en *Intersystem IRIS* (reestructuración).

Tras la primera fase de ATAVIA en 2018, entre 2019 y 2020 se realizó la «Fase 2», en la que a *grosso modo* se quiso integrar distintas funcionalidades de CESADAR y hacerlas accesibles desde ATAVIA. Entre ellas los datos de SMBC-PAESA (análisis de fluidos de máquinas) y los paneles de control anteriormente mencionados. Se evolucionaron las capacidades para automatizar lanzamientos de *scripts*, accesibilidad y estructuración conveniente de los datos generados por *scripts*, así como las herramientas de gráficos, de admi-

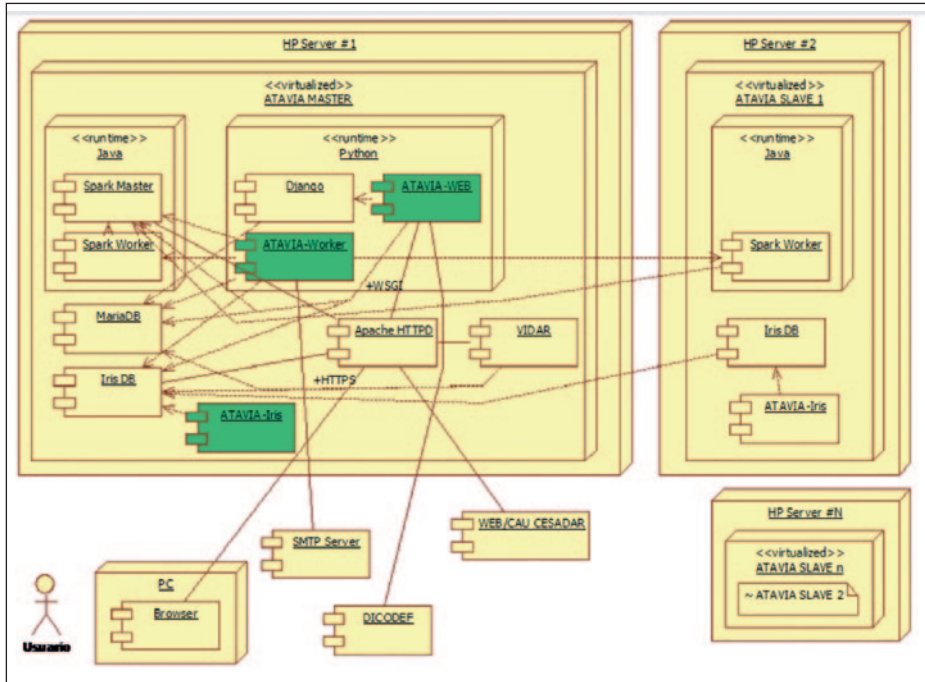


Fig. 3. Componentes *software* ATAVIA y MEVIMAN. Señalados en verde sobre ejemplo servidor tipo MASTER: Aplicación *web* ATAVIA-MEVIMAN, Worker de computación y servidor de Base de Datos IRIS

nistración y las propias de distribución de computación de la herramienta en sus clústeres (conjuntos de nodos). Igualmente se desarrollaron capacidades de *reporting* automático y de inclusión de widgets de terceros programas dentro de los informes.

Durante esta segunda fase el sistema ATAVIA en WAN-PG ya se componía de un clúster en Arsenal de Cartagena con cinco nodos de computación (cada uno de ellos virtualizado con ocho núcleos de procesamiento y 32 GB de RAM de memoria primaria para cada uno de ellos), uno de ellos «master» y el resto «esclavos» al anterior.

### Automatización de procesos en ATAVIA/MEVIMAN: objetivos iniciales

Llegados a este punto se debe reseñar que no todos los nodos del sistema tienen por qué incluir el histórico completo de la Base de Datos. Algunos

nodos tienen la Base de Datos completa (por facilitar disponibilidad y acceso debido a la localización de los analistas de cada Arsenal, o por simple réplica y salvaguardado de datos por redundancia) y otros nodos están especializados en obtener grandes capacidades de computación (mayor número de núcleos de procesamiento virtualizados o mayor memoria primaria).

Con esta filosofía se ha desarrollado la estrategia de implantación del sistema ATAVIA en todos los Arsenales del apoyo logístico. Se asegura que cada zona marítima tenga al menos un servidor con datos, para cargarlos desde allí en cada script lanzado a computación o para cualquier uso de histórico de datos mecánicos que se requiera.

Cada nodo (y principalmente el sistema ATAVIA en su conjunto), se concibe como un integrador de los datos mecánicos generados por los buques (ATAVIA) o por un buque concreto (MEVIMAN), para constituir una «ventanilla única» de acceso a los mismos. Cualquier usuario de la red WAN-PG puede acceder a los datos de los activos de plataforma naval de los buques de la flota (ATAVIA) o puede acceder en tiempo real a los datos de su buque en cuestión sobre el que va embarcado (MEVIMAN). Tanto ATAVIA como MEVIMAN tienen estructuras equivalentes (aunque ejecuten la algoritmia con frecuencias diferentes), ATAVIA es general e integra los datos

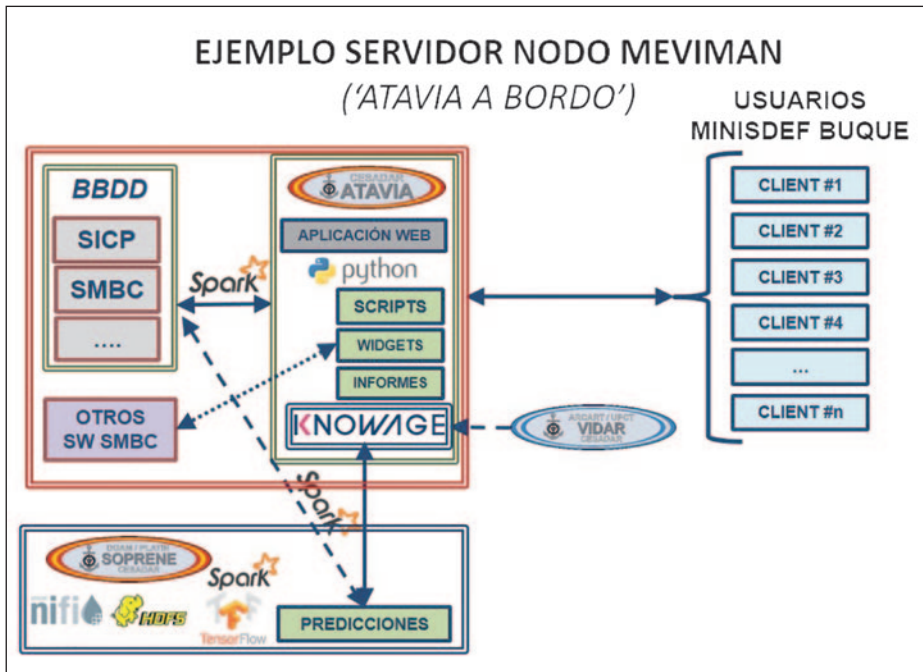


Fig. 4. Ejemplo completo de nodo MEVIMAN a embarcar



para todos los buques y MEVIMAN va embarcado en cada buque y sincroniza sus resultados según se programe con la aplicación general ATAVIA en tierra (figura 4).

Los usuarios acceden a los servicios a través de una aplicación web alojada en el nodo ATAVIA-MEVIMAN. Esta aplicación tiene capacidad de realizar informes automáticos (en base a scripts que integran el conocimiento humano como se ha explicado anteriormente), estructurar las alarmas, malfuncionamiento o información computada que se requiera y dar acceso a los *widgets* o paneles de control que estén disponibles en las aplicaciones de *Business Intelligence* que se determinen (se utiliza por ahora la herramienta *Knowage* para este fin). En algunos nodos se incluye BD completa y en los *workers* se les da acceso a estas BBDD de forma externa para computar los datos necesarios y aprovechar su capacidad de computación (computación paralelizada en cada clúster mediante Apache SPARK). Igualmente, las predicciones realizadas tanto por los programas SOPRENE (en tierra, Sosténimiento Predictivo con Redes Neuronales) o MAPRE (equivalente a SOPRENE pero embarcado, Mantenimiento Predictivo Embarcado), son consultables desde los nodos ATAVIA-MEVIMAN. Se debe describir que los clústeres de computación de predicciones (SOPRENE) también utilizan Apache SPARK para paralelizar su computación. En cuanto a escalabilidad de tipos de sistemas, los nodos ATAVIA-MEVIMAN tienen capacidad de ser enlazados a terceras BBDD si se requiriese, para computar mediante scripts sobre sus datos. La gestión de los scripts y sus outputs es muy sencilla desde el portal de administración de ATAVIA o MEVIMAN en cada buque.

Los nodos ATAVIA-MEVIMAN automatizan el lanzamiento de los *scripts* de búsqueda de malfuncionamientos operativos (como si de un analista CESADAR se tratase) en los intervalos de tiempo que se requieran. En el caso de ATAVIA se lanzan las automatizaciones (*scripts* validados por el CESADAR-Central) tras la ingesta diaria de datos. Esto ahorra esfuerzo humano en tareas repetitivas y ya programadas. Del mismo modo, MEVIMAN embarcado realiza este lanzamiento de *scripts* validados cada cinco minutos conforme se generan nuevos datos. Estos *scripts* pueden detectar tendencias anómalas, valores erróneos, o cualquier otro tipo de cálculo, integrando el conocimiento experto de los analistas y técnicos de CESADAR. El objetivo es dar confianza a las dotaciones en la fiabilidad de sus equipos, automatizar vigilancias y «sentir» que la experiencia y buen hacer de los técnicos de la Armada más veteranos participa en tiempo real de la vigilancia de sus activos en la mar (como si estuvieran «embarcados» durante cada navegación).

## Despliegue de MEVIMAN: uso mixto de diagnósticos en tierra/a bordo

Para asegurar ambos, disponibilidad y redundancia de datos, se va a disponer de una red de clústeres ATAVIA en tierra en cada Arsenal y Centro de Apoyo Logístico de la Armada. Por cada Centro al menos se van a disponer dos nodos: uno de servidor completo (Aplicación *web* + *worker* + BD) y otro servidor *worker* para computación. El clúster de nodos más importante es el de Cartagena (CESADAR-Central) con cuatro nodos completos y un *worker* (figura 5). Además de esos, en CESADAR-Central se disponen los servidores SMBC en tierra, el clúster de computación de predicciones en tierra (SOPRENE) y el de paneles de control dinámicos por *Business Intelligence* (VIDAR, Visualización Inteligente de Datos en la Armada). Todos los clústeres van a funcionar como un único sistema (ATAVIA), accesible desde red WAN-PG (*URL: atavia.cesadar.es*). La sincronización para replicación de la información de todas las BBDD y la coordinación de todo el sistema se lleva a cabo desde CESADAR-Central ubicado en el Arsenal de Cartagena. El clúster dispuesto en JAL-DISOS permitirá acceso de SIL-GALIA y otras aplicaciones logísticas a los resultados y datos brutos del sistema ATAVIA.

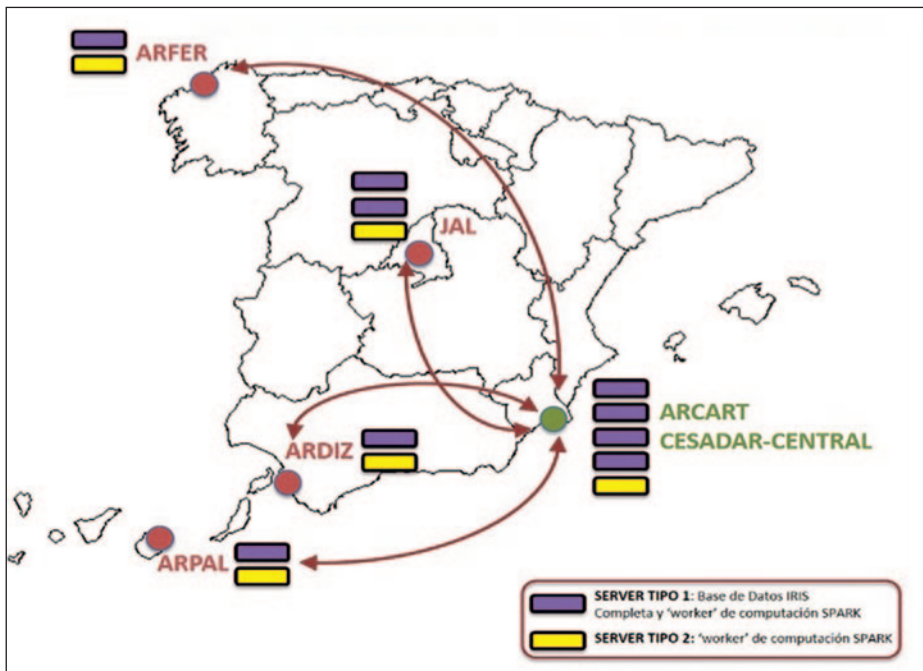


Fig. 5. Base de futura adaptación de buques con sistema MEVIMAN embarcado: plan de despliegue Sistema ATAVIA 2021

Como se ha explicado anteriormente, el sistema MEVIMAN embarcado se compone de un nodo equivalente a uno completo de ATAVIA sobre cada buque. Los resultados de computación mediante *scripts* (anomalías, malfuncionamientos, alertas, informaciones computadas, etc.) se ejecutarán a bordo en tiempo real y se sincronizarán sus resultados con las BBDD de ATAVIA como se explicará en el siguiente apartado. Por lo tanto, el despliegue de ATAVIA en todos los arsenales es el paso previo y constituye la base del uso mixto tierra-embarcado del sistema ATAVIA-MEVIMAN.

El primer prototipo de MEVIMAN embarcado se va a comenzar a probar en octubre de 2021 sobre el BAM *Audaz* (P-45). Hasta ahora, los 32 buques incluidos en el sistema CESADAR envían sus datos generados de forma puntual y discreta durante las horas valle de uso del satélite (a partir de medianoche según el huso horario). El sistema de envío utilizado hasta la fecha utiliza el protocolo *SMTP* hasta ser estructurados en WAN-PG a su llegada a CESADAR. Estos datos se envían a través de un dispositivo (COB, *Cesadar On Board*, 2008) con doble tarjeta de red interconectando la red SICP y la «Red de Buque». Este COB solo se alimentaba para su encendido mediante un temporizador programado de 00:00 a 02:00 horas. Con el nodo MEVIMAN embarcado se van a solucionar distintas problemáticas a la vez, entre ellas la del envío de datos a tierra. A partir de ahora el envío no se hará a medianoche, sino en función del grado de interés del hallazgo computado para los analistas en tierra (según programación), según uso de satélite (de forma dinámica) y derivando gran carga de computación hacia los nodos de la Flota (en el caso de la Armada, nuestros buques). Esto es, siguiendo la filosofía del *Computing on the Edge*, derivando computación hacia los nodos de un sistema. Para asegurar esta conexión entre la red SICP y la «Red de Buque» (compuesta por distintas redes virtuales), y sustituir el anterior sistema COB de 2008, se ha copiado el sistema de seguridad mediante *Firewall* utilizado por otros sistemas embarcados que intercambian datos entre ambas redes en BAM 2.<sup>a</sup> serie.

Esto permitirá que los datos del propio buque y su histórico estén disponibles para la dotación desde la Red Administrativa WAN-PG en el buque. Todos los resultados de computación (más ligeros que el intercambio del grueso de datos brutos) pueden ser fácilmente sincronizados con tierra (y esperar al volcado del grueso a una llegada a puerto para aligerar carga de envío por satélite), aumentar frecuencia de análisis (hacerla en tiempo real a bordo, además de aligerar carga de computación necesaria del sistema ATAVIA en tierra). Para acceso al resto de datos de otros buques será necesario que el analista a bordo que se conecte a MEVIMAN tenga suficiente ancho de banda en WAN-PG como para acceder al clúster ATAVIA que le sea asignado en tierra. La sincronización de resultados de computación entre cada buque con MEVIMAN y el sistema en tierra es automático y «transparente» para el usuario/analista, aunque podrá configurar la priorización de

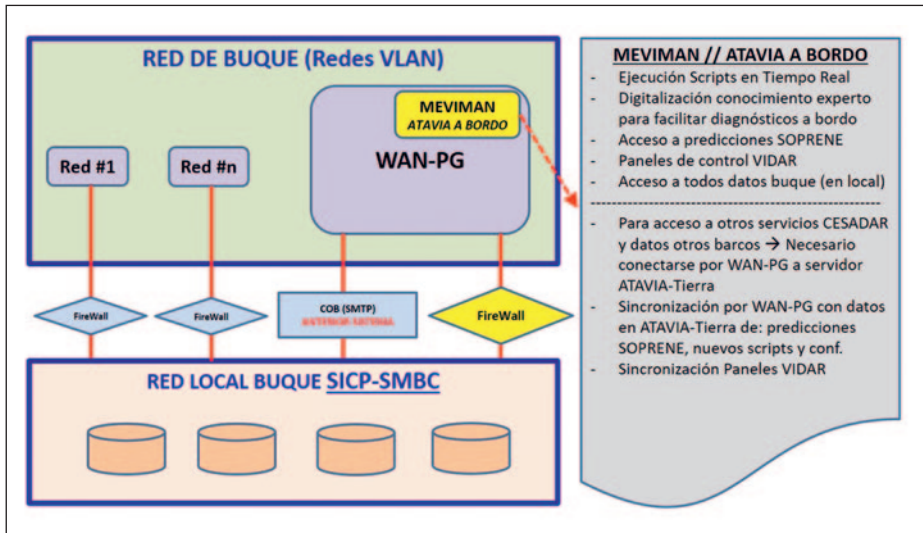


Fig. 6. Configuración y Objetivos principales de MEVIMAN

envíos según tipología o enviar de forma manual alguna incidencia concreta para solicitar apoyo u opinión de analistas CESADAR en tierra.

Las ventajas de tener este sistema embarcado se han descrito en los anteriores párrafos y se resumen en la figura 6. Igualmente se ha vislumbrado su configuración a bordo, haciendo accesible la aplicación web embarcada desde la red administrativa (propósito general) del buque. Para las distintas redes virtuales que tienen cualquier relación con la de SICP se configura un *firewall* que permita intercambio de datos en el sentido que se requiera (figura 7). Los resultados de los *scripts* en tiempo real embarcados de MEVIMAN (malfuncionamientos, anomalías, informaciones computadas, etc.) se envían a ATAVIA en tierra según se programe y dependiendo del uso disponible de satélite. Del mismo modo, en caso de que el buque esté navegando, las nuevas configuraciones del sistema (nuevos *scripts*, nuevos paneles dinámicos, algoritmia de predicción entrenada...) se envían hacia el módulo MEVIMAN en cuestión desde ATAVIA en tierra a través de la red de propósito general mediante satélite (figura 7). Los usuarios o analistas a bordo deberán escoger si quieren trabajar sobre el servidor embarcado o sobre el sistema general ATAVIA (en tierra) que contiene los datos de todos los buques.

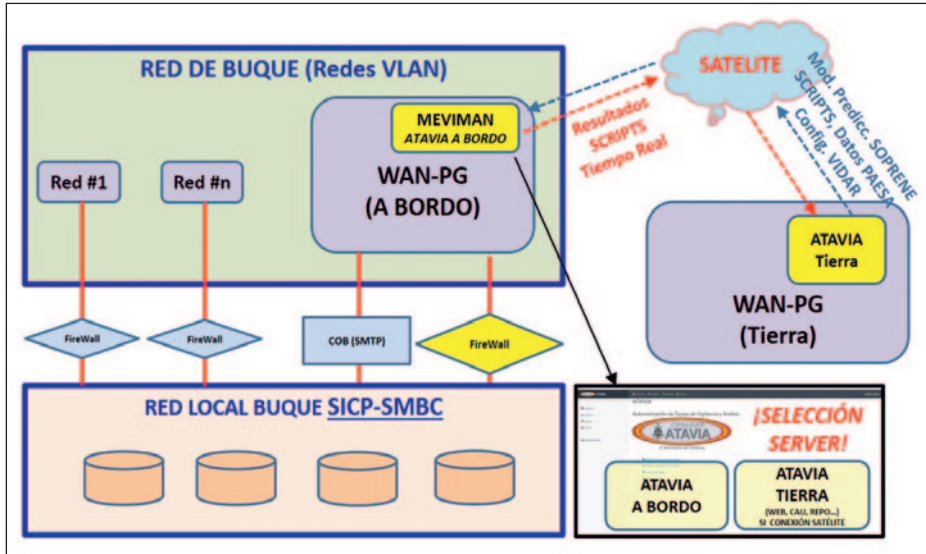


Fig. 7. Esquema funcional MEVIMAN

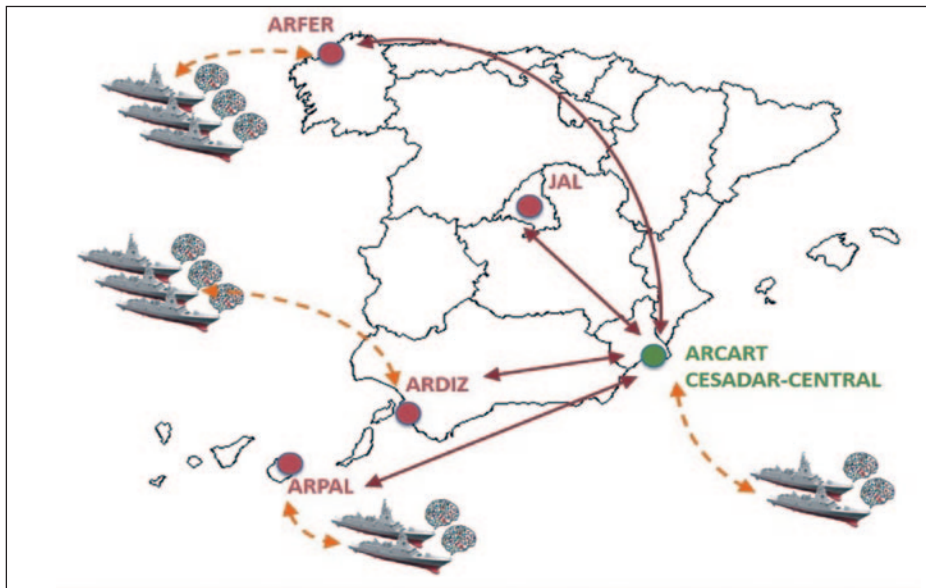


Fig. 8. Esquema de envío de datos entre buques dotados de MEVIMAN y resto de sistema ATAVIA

## Despliegue en buques de flota y operación del sistema

Una vez el despliegue del sistema ATAVIA en tierra se efectúe en el segundo semestre de 2021 (como se ilustra en la figura 5), los buques que se doten del sistema embarcado de automatización de vigilancia MEVIMAN podrán intercambiar sus datos con el sistema (figura 8).

El primer buque en disponer de este sistema será el *Audaz* (P-45) desde octubre de 2021, cómo se ha comentado anteriormente. Posteriormente, se irán añadiendo nuevos buques al sistema para ir paulatinamente reemplazando los sistemas de envío discretos de datos (antiguos COB) por un sistema que permita vigilancia automática en tiempo real, integración del conocimiento experto mediante su digitalización y un apoyo real a la dotación desde tierra en tiempo útil. Se aprovecharán programas como MAPRE (Mantenimiento Predictivo Embarcado) para acometer esta instalación de infraestructura de computación a bordo, pues las herramientas de predicción de CESADAR utilizarán el mismo HW a bordo sobre el que se virtualizarán los nodos necesarios para cada aplicación, con el objetivo de optimizar las capacidades de cada elemento.

Finalmente, toda la información resultado de los *scripts* en tiempo real de MEVIMAN (embarcado), o ya en ATAVIA (en tierra), así como sus predicciones, serán fácilmente accesibles por los usuarios WAN-PG desde la aplicación ATAVIA como se ilustra en la figura 9 (*URL: atavia.cesadar.es*), una vez se den de alta por el administrador del sistema para un conjunto de buques o información concreta (acceso con credenciales DICODEF será habilitado en

The screenshot shows the ATAVIA Alarmas interface. The main content is a table with the following columns: Fecha (UTC), Buque, Sistema, HSC, Equipo, Criticidad, Verificabilidad, Parámetro, Valor, and Descripción. The table lists three active alarms for the vessel P46-FUROR, all occurring on 2021-05-14 at 00:00:00. The first alarm is for 'Baja presión agua de refrigeración' with a value of 1. The second is for 'Baja presión aceite de entrada en turbo A' with a value of 0. The third is for 'Baja presión' with a value of 0. The interface also includes a search bar and a sidebar with navigation options like Alarmas, Órdenes, Gráficos, Ingesta, Scripts, and PMSA.

| Fecha (UTC) | Buque     | Sistema                        | HSC | Equipo | Criticidad | Verificabilidad | Parámetro                  | Valor | Descripción   |
|-------------|-----------|--------------------------------|-----|--------|------------|-----------------|----------------------------|-------|---|
| 2021-05-14  | P46-FUROR | Propulsión.Pro                 | *   | *      | Alarma     | Sin asignar     | DE2-WAT pressure           | 1     | Baja presión agua de refrigeración<br>Aviso de alarma: 6.5 alarmas del mismo tipo mismo día.  |
| 2021-05-14  | P46-FUROR | Propulsión.Propulsor [BR PP Z] | -   | -      | Alarma     | Sin asignar     | DE2-LUB.ETC.sidoA.pressure | 0     | Baja presión aceite de entrada en turbo A. Aviso de alarma: alarmas del mismo tipo mismo día. |
| 2021-05-14  | P46-FUROR | Propulsión.Propulsor [BR PP Z] | -   | -      | Alarma     | Sin asignar     | DE2-LUB.ETC.sidoA.pressure | 0     | Baja presión  |

Fig. 9. Ejemplo de panel de analista CESADAR en ATAVIA-MEVIMAN para verificación de alarmas (y posterior entrenamiento de algoritmos de predicción supervisados)

segundo semestre 2021). Sobre ATAVIA-MEVIMAN los usuarios o analistas podrán verificar anomalías, emitir comentarios sobre ellas o enviar una notificación en el CAU (Centro de Atención a Usuarios) de CESADAR. Estas verificaciones servirán en el futuro para entrenar modelos de predicción de anomalías de forma supervisada (Aprendizaje Automático Supervisado).

## Conclusiones y perspectivas

Con todo lo descrito en los anteriores apartados, cabe concluir este artículo divulgativo mencionando los aspectos principales desarrollados hasta la fecha con los programas ATAVIA (1.<sup>a</sup> y 2.<sup>a</sup> fases) y MEVIMAN. En primer lugar, se ha conseguido conocer a fondo el proceso de registro de datos activos de plataforma naval (SICP) en nuestros buques, y así poder estructurar estos registros convenientemente para realizar operaciones y algoritmia sobre ellos (ATAVIA). Se ha conseguido obtener el conocimiento necesario de todo el proceso de gestión del dato, la Armada debe ser «dueña de su destino», para ser autónomos en el desarrollo y escalabilidad de las herramientas. Del mismo modo se han implantado procesos de digitalización del conocimiento experto de nuestros técnicos mediante scripting, con recursos propios. De forma concreta sobre MEVIMAN, debe señalarse:

- Se va a conseguir una automatización de vigilancia en tiempo real a bordo, que integra el conocimiento experto operativo de nuestro personal.
- Se consigue interactuar con los Centros CESADAR en tierra en tiempo útil para apoyo de cualquier imprevisto en nuestros activos de plataforma naval de los buques incluidos en el sistema (modernizando el antiguo sistema COB de envío de datos a tierra).
- Se consigue derivar parte de la computación hacia los nodos de la Flota (nuestros buques), que participan así del conjunto de capacidad de computación del sistema ATAVIA.
- Se integran todos los servicios de CESADAR (paneles de control, CAU, datos de distintos buques, predicciones, etc.) a través de una aplicación web accesible desde la red administrativa del buque. Esta permite acceder a los datos y resultados del propio buque en tiempo real (MEVIMAN a bordo) o al de todos los buques (ATAVIA en tierra) a través de WAN-PG. Se consigue eliminar barreras de acceso a los datos y servicios de CESADAR por parte del personal de Armada (se elimina necesidad de instalar aplicaciones de escritorio).
- Se establecen los primeros pasos hacia la verificación de anomalías a bordo que permita de forma correctamente estructurada poder desarrollar algoritmias de predicción supervisada en el futuro.

Como perspectiva principal, queda ahora realizar una correcta gestión de todo el conocimiento desarrollado en los últimos años, añadir nuevos buques al sistema ATAVIA-MEVIMAN, formar a las dotaciones en mantenimiento predictivo e integrarlas en los procesos de digitalización de conocimiento y también continuar escalando la capacidad de computación del sistema ATAVIA-MEVIMAN.

## Agradecimientos

El autor quiere expresar su profundo agradecimiento a las personas que han hecho posible que este proyecto se comenzara a desarrollar (con ATAVIA) desde 2018 y que siguen haciendo posible su progresión e implantación. Entre estas personas cabe nombrar de forma muy especial al capitán de navío Juan José Díaz del Río Durán (jefe de la sección SAAS de JAL-DISOS), al capitán de navío Antonio Villalba Madrid (jefe de sección de Arquitectura en CESTIC, cuya estructura nos ha facilitado la implantación del sistema para poder operar en WAN-PG) y al capitán de fragata Federico Pérez Dueñas, director técnico de SIL en JAL-DISOS-SAAS). Debo agradecer igualmente a la empresa contratista (NAVANTIA) y a sus trabajadores en este Proyecto (entre ellos Juan Luis Muñoz y Daniel Contador) y a los tenientes de navío Rubén de la Peña Ramos del CESTIC y Alvar Hernández Santiuste de JAL-DISOS-SAAS. Del mismo modo quisiera hacer partícipe de todos los logros y desarrollos a todo el personal destinado en CESADAR-CENTRAL o trabajando en el Centro adscrito a algún proyecto, nombrando en especial al ingeniero técnico de Arsenales José Carlos Sánchez Martínez y al ingeniero de ISDEFE Guillermo García Espinosa.

