LA MAQUETA DIGITAL

Vicente CUQUERELLA GAMBOA

1N73LL1G3NC3
15 7H3 4B1L17Y
70 4D4P7 70
CH4NG3

Stephen Hawking.

El dominio ciberfísico

A Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0, que surge de la transformación digital de la sociedad, necesita desenvolverse en un dominio híbrido, en el que el «mundo físico» y el «entorno digital» se intercambian información a través de una interfaz de comunicación que procesa aplicaciones de gestión de datos para el servicio del usuario y la toma de decisiones.

En el sector naval, el mundo físico se materializa en lo que llamamos «buque inteligente», capaz de integrar datos de una amplia variedad de fuentes y procesar y transmitir la información obtenida para llevar a cabo las operaciones y el sostenimiento.

Por su parte, el entorno digital está representado por la denominada «maqueta digital», que no es otra cosa que una versión virtual del buque real. No se limita a un mero modelo 3D de este —con la localización y dimensiones de sus equipos y sistemas—, sino que además integra toda su información funcional (además de presentar la imagen tridimensional de una bomba de contraincendios, proporciona también su caudal, temperatura, revoluciones, etcétera).

La normativa ISO 17599 establece diferentes niveles de maqueta digital en función de su grado de madurez. Un salto cualitativo digno de considerar lo

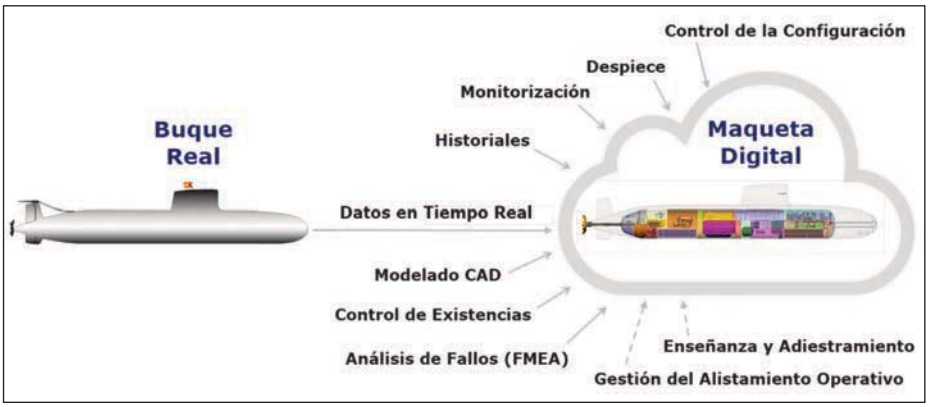
constituye el denominado «gemelo digital» (*digital twin*); aunque existen numerosas aproximaciones en cuanto a su definición, se puede considerar que una maqueta digital ha alcanzado el grado de gemelo digital cuando el mundo virtual y el físico se conectan y son capaces de interactuar. El progreso de este gemelo digital de nivel básico hacia uno más avanzado estará determinado por la medida en que se relacionan ambos entornos (físico y virtual).

La maqueta digital en la Armada del siglo XXI

Los requisitos de la Armada para el buque de la era digital demandan el desarrollo de un nuevo modelo de Apoyo Logístico basado en la Industria 4.0, capaz de aprovechar las tecnologías de vanguardia para mejorar la eficiencia operativa de sus unidades y reducir los costes asociados a su ciclo de vida.

Según el nuevo Concepto de Apoyo Logístico, la maqueta digital debe ser la base sobre la que se fundamente el apoyo al ciclo de vida de los buques del futuro. Por tanto, el modelo de maqueta que se desarrolle para la Armada deberá estar orientado principalmente al sostenimiento de las unidades a través de sus tres funciones logísticas fundamentales:

— Mantenimiento (preventivo, correctivo, predictivo y prognosis): exigirá de la maqueta disponer del despiece y la monitorización de «la salud» de los sistemas y equipos, así como de los planes e historiales de mantenimiento informatizados.
— Aprovisionamiento: requerirá de la maqueta una gestión eficaz y la actualización en tiempo útil de existencias, pedidos y cargos, así como la predicción de necesidades futuras.



Aplicación de la maqueta digital en la Armada del siglo XXI.

— Ingeniería del ciclo de vida: demandará de la maqueta una gestión de obsolescencias rigurosa y un robusto y eficiente control de la configuración.

No obstante, en un nivel de desarrollo avanzado, la maqueta digital tendrá también el potencial de ofrecer otras utilidades relacionadas con ámbitos distintos al sostenimiento, como la enseñanza, el adiestramiento e incluso la gestión del alistamiento operativo.

La maqueta, catalizadora de los principios tecnológicos del Concepto 4.0

Como centro de gravedad del mundo ciberfísico, la maqueta digital debe ser la piedra angular sobre la que descansen los principios rectores de la Industria 4.0, imprescindibles para garantizar el cumplimiento de las funciones logísticas en el nuevo entorno tecnológico.

Para que sea capaz de proporcionar toda la información que el apoyo logístico va a utilizar a lo largo del ciclo de vida del buque, es necesario que durante la etapa de producción se definan qué datos utilizarán las funciones logísticas del sostenimiento años después (principio de orientación de los servicios al cliente). Por ejemplo, si para el ciclo de vida debe desarrollarse un proceso de mantenimiento predictivo de un equipo, será necesario que la maqueta sea capaz de proporcionar todos los datos que ese mantenimiento requerirá. Sin embargo, la maqueta se elabora unos años antes (durante la etapa de producción); por tanto, es preciso que las partes implicadas en los procesos de obtención y sostenimiento colaboren previamente para asegurar que la maqueta contiene los mencionados datos cuando se necesiten.

Durante la elaboración de la maqueta digital del buque, se deberá determinar el nivel de autonomía que se requiere de cada proceso (principio de descentralización), identificando aquellos que no necesitan de la participación de toda la cadena de autoridades para completarse. Asimismo, se debe establecer qué procesos han de automatizarse y a qué niveles para mejorarlos en rapidez y eficacia. Por ejemplo, pueden elaborarse procesos automáticos para, con los datos obtenidos en el ciclo de vida, detectar errores de diseño y recomendar soluciones de ingeniería, mejorar la eficiencia energética, la seguridad física, etcétera.

La maqueta proporcionará datos masivos sobre todos sus sistemas. Todos aquellos que estén sensorizados se generarán en tiempo real (principio de trabajo en tiempo real) y el resto estarán almacenados en ella para su uso. El empleo de estos datos por los diferentes procesos del ciclo de vida supondrá el verdadero cambio en el apoyo logístico tal y como lo conocemos hoy en día.

Durante el proceso de obtención, la Armada deberá especificar el nivel de fragmentación que requiere de los diferentes sistemas, según el apoyo logísti-

co que va a realizar (principio de modularidad), lo cual determinará la flexibilidad para adaptar el ciclo de vida de las unidades a los cambios que imponga el futuro, y por tanto deberá estar reflejado en la maqueta digital. Esto requiere un compromiso por parte de los proveedores para que se cumplan los niveles de modularidad establecidos y su evolución durante el ciclo de vida del buque.

La estructura interna de los procesos digitalizados en la maqueta digital deberá poder interactuar con nuevos sistemas u otros legados existentes en la Armada o en Navantia (principio de interoperabilidad), así como, progresivamente, con los de las principales empresas proveedoras, de forma que se puedan explotar de manera digital los principales procesos de su sostenimiento.

Y base de aplicación de las tecnologías de vanguardia

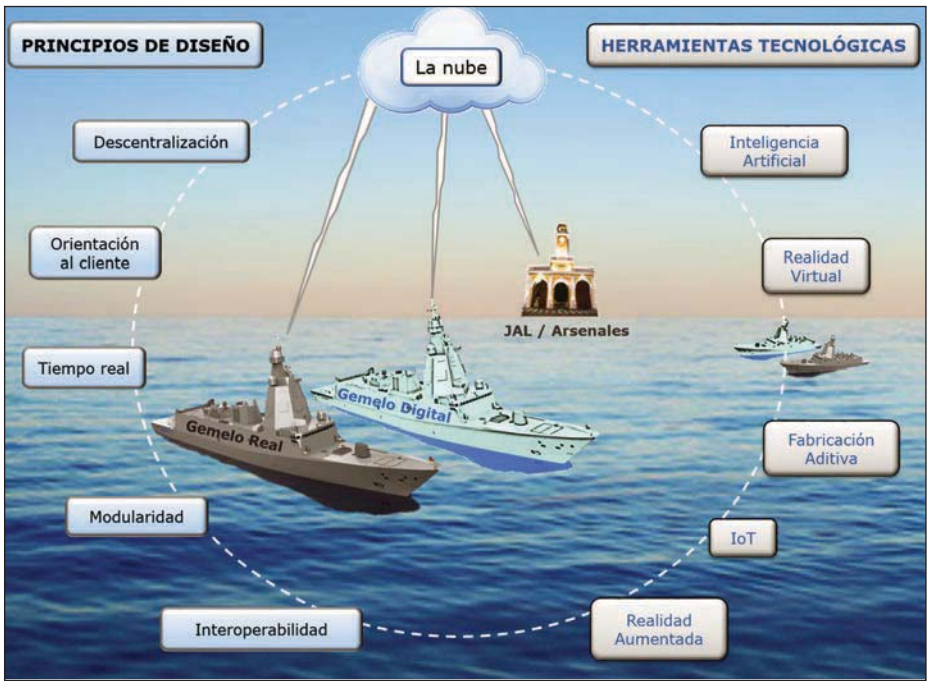
Por otro lado, el aprovechamiento a gran escala de las nuevas tecnologías propias de la Industria 4.0 que se implanten en la maqueta digital permitirá mejorar la eficiencia, aumentar la productividad, reducir costes, optimizar los procesos y crear nuevos servicios y productos.

El intercambio de información entre el buque inteligente y la maqueta se nutrirá no solo de los datos de interés logístico que se hayan introducido, sino también de aquellos derivados del uso masivo de la sensorización (Internet de las Cosas), que serán procesados y analizados en la nube *(cloud computing)*. Por supuesto, la arquitectura sobre la que se asiente deberá disponer de un adecuado grado de protección (ciberseguridad) para evitar posibles intrusiones o ciberataques.

La maqueta digital permitirá la generación de repuestos en la mar mediante la impresión en 3D (fabricación aditiva), lo que será especialmente útil en el caso de elementos de pequeñas dimensiones con formas geométricas complejas. Además, admitirá el uso de dispositivos tecnológicos que superponen información virtual interactiva sobre la tangible existente (realidad aumentada), lo que supondrá un notable salto cualitativo en el campo del mantenimiento.

Por otra parte, la maqueta se irá enriqueciendo con la información que proporcionen los buques a lo largo de su ciclo de vida y dispondrá de capacidad de autoaprendizaje (inteligencia artificial), que incluirá modelos de predicción de prestaciones y análisis de comportamientos de los equipos y sistemas del buque para el apoyo a la toma de decisiones.

Podrá también potenciar la capacidad de instrucción y adiestramiento de las dotaciones mediante técnicas de modelado y simulación en un entorno sensorial 3D artificial (realidad virtual), replicando el comportamiento real del buque en un ambiente operativo, reduciendo el esfuerzo de instrucción que efectúa la Armada.



El gemelo digital en el Concepto 4.0.

Sí, pero... cómo trabaja la maqueta

Las herramientas de explotación

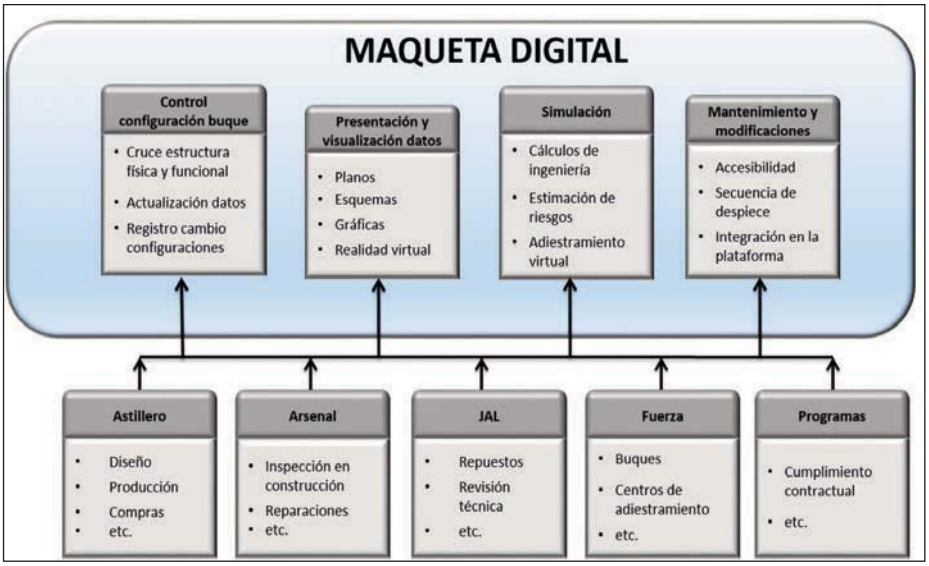
Como se ha dicho, la maqueta digital debe disponer de toda la información que requiere el cumplimiento de las diferentes funciones logísticas. Para ello, necesita trabajar principalmente en la nube y sobre una única estructura de datos; de manera que lo que varíe sea el uso (herramientas de explotación) que hagan de estos datos los diferentes usuarios, según los privilegios de acceso de que dispongan:

— Astillero: diseño, producción, compras, etcétera.
— Arsenales: mantenimientos, obras de modificación...
— JAL: adquisición de repuestos, revisión técnica...
— Fuerza: buques, centros de adiestramiento...
— Programas: verificación de requisitos contractuales...
— Sociedades de lasificación: expedición de certificaciones...

Por ejemplo:

— Para llevar a cabo tareas de mantenimiento, se deben poder visualizar en la maqueta los aspectos relacionados con la accesibilidad, el despiece de los equipos, la secuencia de montaje de los diversos componentes, etc. Para ello, el cruce entre la arquitectura física y la funcional (lógica) debe presentarse al usuario de la forma más amigable posible.
— Para planificar una obra de modificación, se deben poder efectuar en la maqueta comprobaciones sobre la integración física de nuevos elementos en la plataforma (espacio disponible, conexiones, tipo de alimentación eléctrica, necesidad de disipación de calor, impacto en la estabilidad del buque, etcétera).
— Para el estudio de requisitos contractuales, la maqueta digital debe contar con herramientas que permitan realizar simulaciones, tanto a nivel de elemento como de agrupación o sistema, incluyendo la estimación de los riesgos de incumplimiento que puedan existir.

No todas estas tareas necesitan estar soportadas por *softwares* específicamente desarrollados para la maqueta, sino por herramientas de explotación (paquetes informáticos) ya disponibles en el mercado (programas para cálculo de estructuras, herramientas de simulación funcional y dinámica, programas



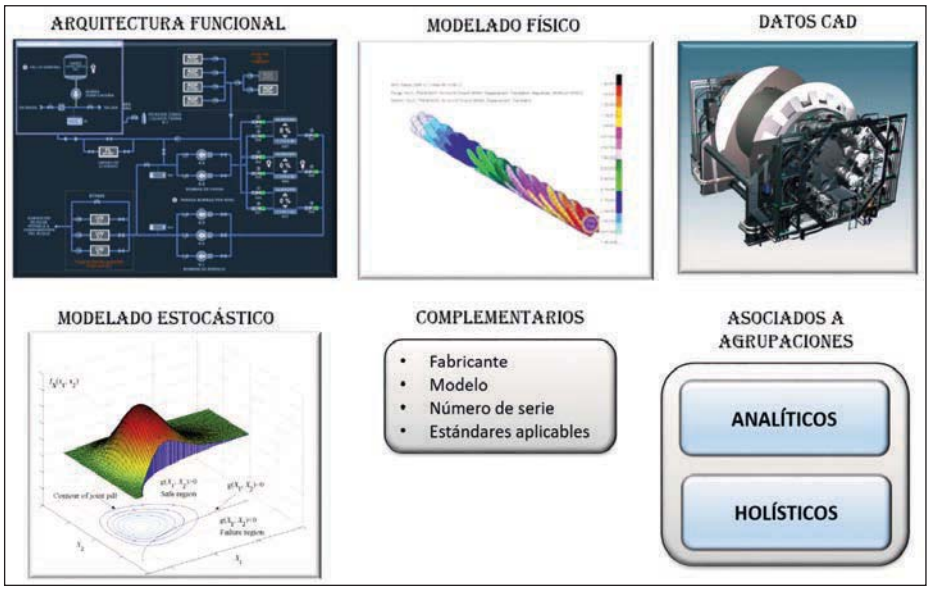
Estructura de datos única. Uso diferente.

para el estudio de balances eléctricos, etc.). Es decir, la maqueta simplemente deberá disponer de la capacidad de integrar dichas herramientas al objeto de realizar las correspondientes labores.

La tipología de los datos

Lo anterior exigirá llegar hasta un nivel de granularidad muy fino en la configuración de ciertos equipos. El grado de detalle dependerá de las necesidades de la Armada, el recurso económico disponible y el entorno tecnológico del momento. No obstante, se puede inferir la existencia de cinco grandes categorías de datos:

— Datos CAD: asociados a las interfaces físicas más básicas (geométrica, dimensiones, localización).
— Datos de modelado físico: asociados al comportamiento físico (potencia de un motor, caudal de una bomba).
— Datos de modelado lógico: necesarios para describir las funciones de los sistemas (contraincendios, alimentación, alumbrado).
— Datos de modelado estocástico: necesarios para describir las incertidumbres asociadas a los anteriores (probabilidad de rotura de una tubería).



Tipología de datos de la maqueta digital.

— Datos complementarios: de identificación, estándares, descripciones, etcétera.

Además, podrá haber otros datos asociados a agrupaciones de los elementos configurados en la maqueta, que pertenecerán básicamente a alguno de los dos tipos siguientes:

— Analíticos: que pueden deducirse como suma directa de los elementos que forman la agrupación (el peso de un motor diésel).
— Holísticos: introducidos de forma directa sin conexión con los de los elementos del grupo (la curva de revoluciones de una turbina).

Las interfaces

Hay datos de tipo logístico (fiabilidad de componentes, tiempo entre fallos, disponibilidad operativa, periodicidad de mantenimiento, repuestos necesarios, etc.) que podrían quedar segregados de la maqueta digital, incorporándose a una estructura de datos diferente desde la cual se podría explotar la maqueta, usando para ello una interfaz de conexión. Por tanto, esta tendrá que tener una arquitectura lo suficientemente abierta y flexible para poder admitir nuevas interfaces de conexión con otras estructuras de datos que puedan surgir en el futuro. En este sentido, los nodos CIS/TIC en la I3D del Ministerio de Defensa deberán ser capaces de atender a la demanda de servicios y a las funcionalidades que la maqueta debe proporcionar en cada caso.

Es importante señalar que, dado que los datos asociados a cada buque podrían llegar a tener fuertes variaciones (especialmente una vez iniciado el ciclo operativo), cada uno de los buques de la misma serie ha de ser «digitalmente singular», es decir, debe disponer de su propia maqueta digital. Por otro lado, en el futuro, maquetas de buques muy distintos podrían llegar a compartir una elevada cantidad de datos, según la comunalidad que tengan de equipos y sistemas. Por consiguiente, se deberá prever la adecuada capacidad de interconexión para gestionar tanto las diferencias que surjan en buques de la misma serie como las similitudes que puedan existir entre los pertenecientes a diferentes series.

El control de la configuración

Ante esta ingente variedad, tipología y localización de datos, una exigencia «vital» de la maqueta digital será la de poder gestionarlos adecuadamente, manteniendo la necesaria jerarquía entre elementos y agrupaciones. Por tanto,

en el nuevo entorno digital, el control de la configuración se revela como una parte clave de la ingeniería del ciclo de vida, que deberá estar soportada sobre los fundamentos de la maqueta.

La configuración del buque se deberá mantener actualizada bajo el principio de «dato único» para asegurar la adecuada sincronización de todo el sistema. Para cumplir con este criterio, la arquitectura del sistema ha de permitir que los datos estén disponibles para todos aquellos procesos que los necesiten; sin embargo, la responsabilidad sobre cada dato recaerá en un solo proveedor, que mantendrá su calidad durante todo su ciclo de vida.

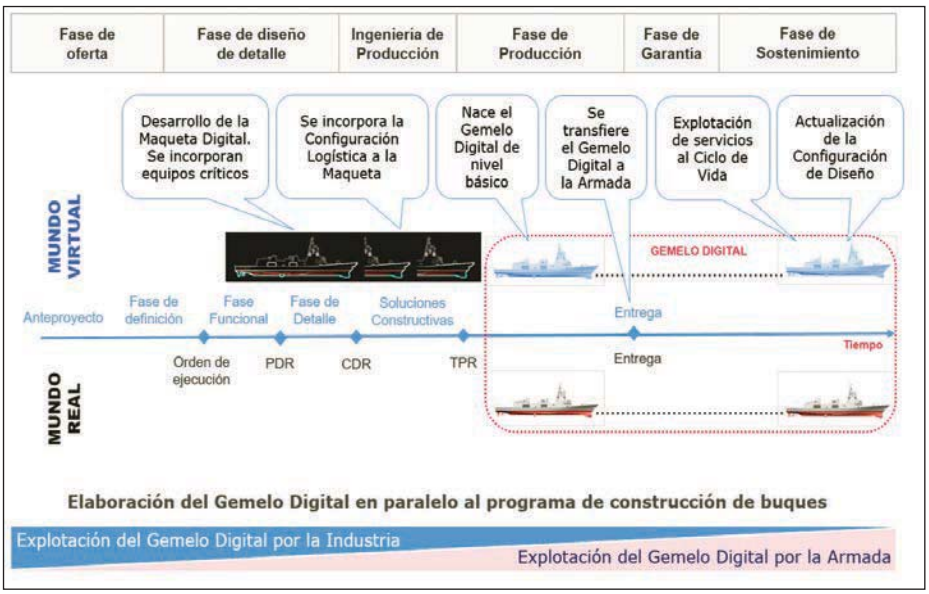
Asimismo, se deberán poder incorporar paquetes de datos correspondientes a equipos y sistemas suministrados por fabricantes en cualquier momento de la fase de adquisición y en el posterior ciclo operativo, así como actualizar los datos asociados a cada elemento en base a la experiencia adquirida durante el ciclo de vida (por ejemplo, la curva característica de una bomba podrá ajustarse a los datos reales obtenidos durante las pruebas de entrada en servicio).

La maqueta digital de la *F-110*

De acuerdo con el Concepto de Apoyo Logístico de la Armada, el programa de obtención de la fragata *F-110* debe ser el motor que impulse la transformación hacia el nuevo modelo de Apoyo Logístico. La maqueta digital que se desarrolle dentro de este programa, si bien estará inicialmente limitada en su alcance (debido al grado de incertidumbre que existe actualmente del entorno previsible), deberá ser flexible, adaptable y escalable a los cambios que se vayan produciendo a medida que el proceso de obtención avance.

En este contexto, se está articulando una estrategia de inserción tecnológica de la maqueta de la *F-110*, incluyendo su progresión a la categoría de gemelo digital y su posterior desarrollo. Esta estrategia, que podría ser readaptada debido a la naturaleza tan innovadora de este programa, incluye:

— Una primera fase de elaboración de un modelo 3D con la configuración de diseño constructivo. Finaliza con la *Critical Design Review* (CDR) del programa, actualmente prevista para 2020.
— Una segunda fase, en la que se lleva a cabo la incorporación paulatina de la configuración logística. Finaliza al conectar la maqueta de la primera fragata de la serie con el buque real (nace el gemelo digital de nivel básico).
— Una tercera fase, en la que comienza la explotación de los servicios de apoyo al ciclo de vida y se desarrollan los gemelos digitales de los buques de la serie que se vayan entregando a la Armada. Finaliza con la entrega a la Armada del gemelo digital de la última fragata de la serie.



Ciclo de vida del gemelo digital. (Fuente: Navantia).

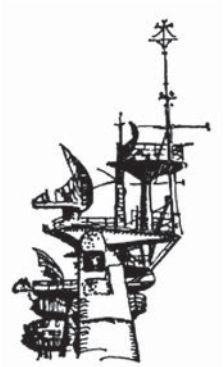
En resumen

La maqueta digital es el centro de gravedad del entorno ciberfísico que el Concepto 4.0 necesita para su correcto desarrollo y la plataforma sobre la que se cambiará el modo en que se llevan a cabo los procesos logísticos en la Armada, mejorando la eficiencia del ciclo de vida de sus buques. Además, será el nexo de unión entre el buque inteligente, el arsenal y el astillero, facilitando una integración efectiva de todas las partes implicadas.

Como piedra angular del Apoyo Logístico 4.0, aprovechará al máximo el uso de las tecnologías de vanguardia y será la base sobre la que se asienten los principios de diseño tecnológico inherentes a la Cuarta Revolución Industrial.

Trabajará sobre una única estructura de datos bajo el principio de «dato único» y albergará herramientas de explotación acordes con las necesidades de los diferentes usuarios; permitiendo simulaciones, comprobaciones automáticas e interfaces de conexión con aplicaciones segregadas y con otras maquetas.

Como motor de la transformación del Apoyo Logístico de la Armada, el Programa *F-110* incorporará un modelo de maqueta digital que se desarrollará de acuerdo con una estrategia incremental. El proceso inicial girará en torno al pilar de la configuración, para su posterior evolución al grado de gemelo digital y la correspondiente explotación de los servicios de apoyo al ciclo de vida.

BIBLIOGRAFÍA

Concepto de Apoyo Logístico de la Armada, julio 2017.
Normativa ISO 17599: *General requirements of digital mock-up for mechanical products*.
NATO Standard-ANEP 84: *Standards for virtual ships*.
Infosys Insights: *The future for industrial services*. *Digital Twin*, septiembre 2017.
GRIEVES, Michael: *Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication*. Instituto de Tecnología de Florida, abril 2017.
MARR, Bernard: «What is Digital Twin technology and why is it so important?». *Forbes*, marzo 2017.
LADETTO, Quentin: *Defence future technologies: Emerging technology trends*, octubre 2016.